

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE  
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DE BARCELONA**

**PROGRAMA DE DOCTORADO DE INGENIERÍA DEL TERRENO**

**VALIDACIÓN DE MODELOS DIGITALES DEL  
TERRENO DE PRECISIÓN A PARTIR DE DATOS LÁSER  
ESCÁNER AEROTRANSPORTADO; APLICACIÓN A LA  
MARISMA DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA**

**AUTOR**

ENRIC IBÁÑEZ MARTÍNEZ

**DIRECTOR**

JOSEP A. GILI RIPOLL

BARCELONA, ABRIL DE 2008

## CAPÍTULO 7:

### CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS

En este capítulo se agrupan todas las conclusiones de la investigación y de los trabajos descritos en el cuerpo de la memoria; desde el proceso de validación hasta la generación de Modelos Digitales del Terreno.

La información se ha estructurado en tres apartados. En el primero se resumen las conclusiones de investigación de la memoria propiamente dichas. En el segundo se presentan otros resultados que son básicos para obtener las conclusiones del primer epígrafe; son resultados de carácter o interés eminentemente práctico, incluyendo algunas herramientas (programas o algoritmos) que pueden ser útiles en el futuro. En el tercer y último epígrafe se enumeran las líneas de investigación que han quedado abiertas.

#### 7.1. Conclusiones de investigación de la tesis

En este epígrafe se resumen las conclusiones de carácter científico técnico alcanzadas en los capítulos anteriores. Versan, eminentemente, sobre los procesos de validación y generación de Modelos Digitales de Elevaciones en áreas extensas y llanas, objeto de la tesis.

- *Planificación del vuelo ALS.* En áreas extensas y llanas de especial importancia, donde se va a requerir alcanzar la máxima precisión altimétrica, es necesario asegurar una densidad mínima de puntos terreno (y evitar la aparición de artefactos como el de la figura 5.26). Así, es conveniente planear el levantamiento con más redundancia de información. Se recomienda aumentar el solape lateral hasta el 100% para tener visión de un mismo objeto desde al menos dos puntos de vista. También es adecuado aumentar el número de pasadas transversales para tener más información en el proceso de homogenización de tiras del levantamiento, obteniendo mejores resultados. Además, se ha confirmado que los levantamientos en áreas inundables como la analizada deben realizarse con la mínima cantidad de agua posible, dado los problemas de representatividad del modelo en estas áreas (figuras 5.31 y 5.32). Para reducir los problemas se debe recurrir a otras técnicas para delimitar los límites de los cuerpos de agua (fotografía o video aéreo o incluso con trabajo de campo). Dentro de la planificación, se debe aplicar un cierto grado de generosidad en los límites del levantamiento para evitar áreas no levantadas, como ha sido el caso en algunas zonas “marginales” en el vuelo ALS del año 2002 en el Parque Nacional de Doñana (en el Lucio del Sopotón y las dunas hasta el Cerro de los Ánsares, en Matasgordas, en Hato Barrera; figura 5.21). De este modo se evita además el efecto borde mostrado en la figura 5.46.
- *Definición del proceso de validación.* En el capítulo 5 se ha sistematizado pormenorizadamente una metodología de trabajo para la comprobación de un Modelo Digital del Terreno (áreas extensas y llanas, con pocas o ninguna zona urbana, y con vegetación de marisma). Se ha determinado cuáles de las comprobaciones generales expuestas en el capítulo 3 son útiles en áreas extensas y llanas. Se han presentado las comprobaciones cuantitativas y las comprobaciones cualitativas; también se han desarrollado algunas específicas para este tipo de ambientes, como los ensayos de inundación.

- *Error planimétrico – zonas extensas y llanas.* Se ha constatado que en áreas extensas y llanas es difícil verificar la calidad planimétrica de un MDT. La independencia del error planimétrico y el altimétrico en áreas tan llanas como la del caso práctico (fotografía en la figura 5.53) explica esta dificultad. Las comprobaciones punto-puntos no aportan en el área analizada información sobre el error planimétrico. Se debe recurrir a comprobaciones puntuales sobre objetos como edificios o elementos lineales como carreteras (diques y canales en el caso práctico) para comprobar el error planimétrico.
- *Repercusión del error planimétrico en áreas extensas y llanas.* Aunque la conclusión anterior puede parecer preocupante, el impacto del error planimétrico sobre las aplicaciones que usarán el MDT como base de sus trabajos es muy bajo; por ejemplo, en el cálculo de volúmenes almacenados al inundar el modelo, no importa si éste está 4m desplazado hacia el Norte. Lo importante es definir correctamente las elevaciones, que sí son críticas en las posibles aplicaciones del MDT.
- *Forma de expresar el error del ALS.* De los dos modos de expresar el error (expresión E.3.4) se ha llegado a la conclusión que dar un valor con la media y un intervalo calculado a partir de la desviación típica (al 95% de intervalo de confianza;  $\varepsilon_{\sigma,z}=m\pm 1.96\cdot\sigma$ ) es preferible a dar un único valor (al 95% de intervalo de confianza;  $\varepsilon_{\text{RMS},z}=1.96\cdot\text{RMS}$ ), ya que da una idea de si hay “bias”.
- *Tratamiento de los errores groseros en la comparación punto-puntos.* Los tratamientos de detección y exclusión de puntos basados en criterios estadísticos son sólo preferibles si no se tiene ninguna información del entorno de cada punto de referencia. En el caso de disponer de esta información (documentos fotográficos, esquemas con los objetos que lo rodean,...) es siempre preferible el estudio detallado del punto y de su entorno como se ha realizado en el capítulo 5. Los dos criterios estadísticos usados en la memoria dan resultados parecidos (método intervalo de confianza y método de los percentiles). Pero es preferible el del intervalo de confianza porque responde mejor ante errores sistemáticos.
- *¿Un valor único representa el error de un MDT ALS? Modelo espacial del error ALS.* En áreas extensas y llanas se ha comprobado que un valor único de error para todo el levantamiento es completamente insuficiente para evaluar la calidad de un MDT (epígrafe 6.1.1). Las comparaciones con puntos singulares bien repartidos por el levantamiento controlan tendencias generales en todo el levantamiento (distribución en la figura 5.3) pero comprueban poca superficie del modelo (en el caso analizado 36m<sup>2</sup> por cada uno de los 27 puntos de control). Las áreas y perfiles aportan una gran cantidad de puntos ( $\approx 17000$  en el caso del Parque Nacional de Doñana) y una mayor superficie del MDT comprobada ( $\approx 360\text{Ha}$  en este caso) pero distribuidos en pocos lugares del levantamiento (figura 5.3). Se concluye que en áreas extensas y llanas tiene más sentido dar un modelo espacial del error ALS, reflejando que las distintas fuentes de error se dan a distintas escalas. En la expresión E.6.1 se han incorporado cuatro fuentes de error: error de bloque, errores del proceso de homogenización/solapes, errores del sistema GPS, y el error de la medida láser. El error del MDT se ha caracterizado en la figura 6.4, donde se ha ajustado el modelo con toda la información (puntos singulares, áreas/perfiles, ensayos de inundación del epígrafe 5.3.2.a y la estimación de la rugosidad local del epígrafe 5.3.2.c). La expresión del error ajustado (figura 6.4) determina qué error podemos esperar para una ventana o ámbito de trabajo; cuanto más pequeña, menor error. Indirectamente nos dice qué características geomorfológicas van a ser visibles en un MDT, y cuáles van a quedar enmascaradas por el error. En el caso práctico explica por qué se han representado correctamente estructuras como los caños de la figura 6.3, siendo su resolución vertical del orden del error global obtenido (tabla 6.1).
- *Validación cualitativa; generalidades.* En cuanto a la validación cualitativa se ha constatado su necesidad y la debida supervisión del proceso. Se han revisado las principales estrategias para comparar el Modelo Digital del Terreno creado con la información de referencia (capítulo 3) y se han aplicado al caso práctico (capítulo 5; epígrafe 5.3.). En el caso práctico se ha determinado cuáles han resultado efectivas y cuáles no, siendo una buena guía para levantamientos en áreas similares. Dichas validaciones deberían incorporarse a los procesos de validación de forma sistemática.
- *Visualización 3D del MDT; vuelos virtuales.* Las técnicas de visualización del modelo y de la nube de puntos en 3D son básicas para la inspección manual. La visualización del modelo invertido permite detectar fácilmente, en áreas llanas, errores en el modelo (figuras 5.34, 5.49 y 5.50). Más importante aún es la capacidad de movimiento sobre el MDT, con los denominados vuelos virtuales, que son una herramienta

muy potente para la verificación visual del modelo (se incluyen en el anejo IV). La fusión con información multispectral (la ortofotografía en el caso práctico analizado, o incluso la reflectancia de la propia medida láser) aumenta la capacidad de detección de artefactos en el MDT.

- *Ensayos de inundación.* Los ensayos de inundación son una herramienta muy potente. Si bien existen precedentes, en esta tesis se ha formalizado y explotado este tipo de comprobación cualitativa, especialmente la inundación con un contorno activo. Estos ensayos de inundación han servido para: detectar todo tipo de artefactos (desde falsas presas en cauces en la figuras 5.45 y 5.51, hasta los debidos a errores en el conjunto de sistemas *GPS/INS* del epígrafe 5.3.1.5), estimar el error relativo del MDT (figuras 5.54 y 5.55), detectar la correcta definición de la red de diques/muros (figuras 5.36 y 5.57), comprobar la red de drenaje (figura 5.52, epígrafe 5.3.2), y áreas inundables no cubiertas (figura 5.21, epígrafe 5.3.1.1). Es una metodología generalizable a ambientes con pendientes medias y bajas (epígrafe 6.2.2.1, obtención de *DEM*Dif, figura 6.15). Los ensayos de “evaluación del error local en zonas planas” (epígrafe 5.3.2.c) permiten además, evaluar si hay diferencias entre retornos *LiDAR* (debido a diferencias de calibración entre los retornos). En el caso analizado están dentro de los márgenes de error esperables (tabla 5.11 y figura 5.60). Dada la eficacia demostrada por estas comprobaciones cualitativas (inundación y rugosidad en zonas planas), ambas se deberían incorporar de manera estándar en los programas de tratamiento de datos *ALS*, y ser utilizadas como herramientas en el Control de Calidad de los modelos.
- *Interacción con el usuario final y con la aplicación del modelo.* Los resultados obtenidos con los ensayos de inundación han puesto de relieve la importancia de conocer la aplicación del modelo para asegurar la calidad del producto final. Basta con adaptar análisis sencillos del campo de la aplicación para usarlos en la validación del modelo. La interacción con el usuario final es el método más eficiente para asegurar la calidad del MDT para su aplicación específica.
- *Detección y delimitación de áreas de baja densidad.* La metodología desarrollada en el epígrafe 6.2.2.2 es aplicable a áreas llanas (esquema de trabajo en la figura 6.17). Dentro de estas áreas con bajo número de puntos también se pueden distinguir con la metodología propuesta: las áreas con errores del conjunto *GPS/INS* (epígrafe 6.2.2.1), y áreas con cuerpos de agua e islas dentro del modelo (áreas no levantadas). La detección y delimitación de estas áreas de forma semiautomática disminuye el tiempo de procesado manual dentro de la comprobación del Modelo Digital de Elevaciones. El procesado manual concentra los costes más elevados dentro de la elaboración del MDE.
- *Proceso de zonificación.* Se ha considerado que la zonificación es imprescindible como paso previo a cualquier filtro de clasificación de puntos *ALS*, al menos para áreas extensas y llanas. Se ha probado con éxito en el caso práctico para el reprocesado del modelo (tabla 6.3 y figura 6.8). El proceso de zonificación descrito en el epígrafe 6.2.1.1.b es generalizable a cualquier área y es recomendable incluirlo en los filtros de clasificación. En las áreas como Doñana, de los dos factores para aplicar una zonificación a priori (pendiente y penetración de la vegetación), se ha comprobado que el de mayor importancia es la pendiente. De las áreas de baja representatividad detectadas en el caso práctico (delimitadas para todo el levantamiento en la figura 6.5) sólo son significativamente distintas a la realidad las encontradas en pendientes (crestas de dunas, figuras 5.23.E y 5.19); las debidas a vegetación (asociadas a vegetación densa, baja y húmeda como los juncos) no son tan influyentes (figuras 5.24, 5.25, 5.26, 5.27, 5.43 y 5.52).
- *Definición de las características del filtro de clasificación óptimo.* Se ha restringido el concepto del filtro ideal para áreas análogas a Doñana, a los basados en superficies y bloque mínimo (epígrafe 6.2.1). Los filtros se aplicarían después del proceso de zonificación ya descrito (epígrafe 6.2.1.2). Se han definido también las características de un filtro óptimo para áreas extensas y llanas. Esta definición se ha realizado atendiendo a las conclusiones de la validación del caso práctico del Parque Nacional de Doñana (epígrafe 6.1 y la figura 5.44).
- *Trabajo de campo.* Es imprescindible el trabajo de campo para definir las zonas con dificultades de procesado o susceptibles de contener errores. En la generación de un MDT es inevitable un pequeño porcentaje de errores o zonas mal resueltas. En un levantamiento extenso, con centenares de millones de puntos, esto equivale a diversas zonas con problemas. alguna de ellas seguro que afectará a algún elemento vital, como ha sucedido en el caso práctico: falsas presas en cauces (epígrafe 5.3.1.3; figuras 5.45, 5.51, 5.52), definición de pasarelas/compuertas (punto 3 epígrafe 5.3.1.4; figuras 5.40, 5.41 y 5.58), y conservación de diques



(punto 2 epígrafe 5.3.1.4; figuras 5.36, 5.37, y sobre todo la figura 5.38). Estas situaciones pueden conducir al extremo que el MDE generado no sirva para la aplicación para la que se realizó (un MDE donde el agua no fluye por los cauces de forma parecida a la realidad no es útil). La mejor manera de resolver las incertidumbres y los conflictos es salir al campo para verificar in situ la continuidad de los cauces, la altura de los muros, el tipo y cota de las compuertas, etc... Es muy frecuente no hacer este trabajo de campo, quedando los problemas del Modelo sin resolver. En el caso práctico de la tesis se ha tenido la oportunidad de realizarlo dentro del Proyecto MADRE.

## 7.2. Otras aportaciones de tipo práctico

Este apartado contiene el conjunto de trabajos realizados para extraer las conclusiones presentadas en el epígrafe anterior. Dentro de estos se incluyen desde la obtención de la información de referencia hasta el desarrollo de herramientas informáticas, y la propia validación del Modelo Digital del Terreno. Algunas de estas aportaciones basan su mérito en la importancia con la que reviste Doñana a cualquier estudio que se realice sobre el Parque.

- *Georeferenciación de la información de referencia.* Se ha reprocesado la información de referencia de la validación, que tenía distintos datums. Los datos han sido cambiados al datum del levantamiento *ALS* con la transformación definida en UPC [2002] y el modelo geoidal definido en Núñez [2006]. Los detalles del reprocesado y obtención de la información de referencia se incluyen en el anejo I.
- *MDT del P.N. Doñana validado: un resultado práctico, paralelo al estudio metodológico de la tesis.* El proceso de validación del modelo, que ocupa una gran parte del volumen de esta memoria, es una aplicación exhaustiva de las comprobaciones recopiladas en el capítulo 3. En su mayor parte, es un proceso que se debería aplicar en todos los proyectos *ALS* aunque no es una práctica habitual. Además ha sido un proceso necesario para realizar las aportaciones en este campo, como por ejemplo los ensayos de inundación que se han mencionado en el epígrafe anterior. Con toda la información cuantitativa resumida en el epígrafe anterior se ha comprobado la calidad contractual del producto, concluyendo que los errores encontrados son los esperados y cumplen con los requerimientos para el MDT. Los errores del modelo encontrados se han presentado en la figura 6.5. Se han corregido los artefactos y falsas presas detectadas, los diques mal procesados, las compuertas restituidas a su cota correcta, y la delimitación de las áreas problemáticas inundadas. Los anejos contienen todas las correcciones y el MDT del Parque Nacional de Doñana validado.
- *Calidad del MDT y especificaciones.* Dentro de los parámetros para asegurar la calidad de un proyecto *ALS* genérico se fija la densidad de puntos totales (puntos *ALS*/área celda). Fijar esta densidad no asegura la redundancia de información necesaria para evitar zonas de baja representatividad, que sí están en función de la densidad terreno (puntos terreno/área celda). Incluso en el caso de ir más allá con la definición de la densidad y fijar una distribución acumulada de densidades para el levantamiento (obligando así a obtener densidades cercanas a la media y no compensar las áreas de bajas densidades con zonas con demasiada densidad), no se asegura tampoco la calidad del modelo. Además, se ha mostrado en la figura 5.28 que definir la calidad sólo con comparaciones cuantitativas no asegura la calidad del modelo final. Definir los objetivos contractuales del MDT en función de la calidad total sería más eficiente; es decir que se pueda asegurar la utilidad del modelo para la aplicación que se ha generado (como ya se ha mencionado en el epígrafe anterior).
- *Distinguir calidades de procesado en el MDT.* Como ha quedado claro en el capítulo 5 hay áreas del modelo que sólo han tenido un tratamiento automático (epígrafe 5.1.1), ya que estaban fuera del perímetro de contrato. Las diferencias entre los dos tratamientos en el modelo se han evidenciado en la figuras 5.29 y 5.44. Es un problema para un usuario del modelo tenerlo con dos calidades distintas mezcladas. Debe indicarse claramente, y por separado, la calidad esperable para cada zona y delimitar sobre el levantamiento las áreas de distintas calidades de procesado, y por tanto distinto nivel de error. Esta clase de metadatos son importantes para aumentar la facilidad de manejo del MDT en cualquier aplicación y no suponen ningún aumento significativo de los costes de producción del modelo.

- *Curvas de almacenamiento.* Un subproducto importante para la gestión del Parque Nacional han sido las curvas de almacenamiento (superficie y volumen) de la Marisma (figura II.5, anejo II). Con éstas se obtiene la superficie y el volumen inundado para cada cota. Las imágenes de la inundación se adjuntan en el anejo IV. Por ejemplo, si en la estación húmeda el agua llegara a cota 1.84m con todos los recintos de la Marisma del Parque Nacional inundados (excluyendo la finca de Caracoles), el volumen de agua embalsada sería de 112Hm<sup>3</sup>, cubriendo un espejo de agua de 253km<sup>2</sup>, lo que arroja un espesor medio de 0.44m.
- *Herramientas realizadas.* Por último, para alcanzar los objetivos de esta tesis (capítulo 1, epígrafe 1.2) se ha requerido desarrollar una serie de herramientas que realizan todo un conjunto de procesos. Estos son: transformación de coordenadas y de datums (*MCAL*), generación de imágenes y visualización (*PNM*), segmentación (*MCLASS*, *MMOSAC*), mallado (*MESH\_TRI2D*, *MESH\_GRID*), aplicaciones hidráulicas de inundación (*PNM*), clasificación de la nube de puntos *ALS* (*FILTER*), y edición de ficheros de gran tamaño (*FVIEW*). Su implementación y código se incluye en los anejos III y IV. Todo este conjunto de programas permiten hacer desde las comprobaciones presentadas en la memoria, hasta reprocesar la nube de puntos *ALS* y generar un nuevo modelo.

### 7.3. Líneas de investigación abiertas

Las tareas descritas en la memoria han abierto nuevos campos de investigación y han dejado un conjunto de líneas abiertas. No se han desarrollado en la tesis pues no eran absolutamente necesarias para alcanzar los objetivos descritos en el capítulo 1. Estas líneas se han agrupado en:

- *MDT validado como base de partida de otros estudios.* El levantamiento *ALS* de la marisma del Parque Nacional de Doñana ha dado una información muy potente a otros campos de investigación dada la resolución del MDT y su calidad. Así, por ejemplo, la gran cantidad de información sobre el sistema de caños y lucios de la Marisma ha permitido a grupos de investigación como FLUMEN (UPC) implementar simulaciones hidráulicas de gran precisión y determinar, por ejemplo cuál es la influencia de variables como el viento en la geometría de la lámina de agua en grandes extensiones inundadas (lucios). También es una gran herramienta para la gestión del Parque, pues permite evaluar y gestionar los recursos hídricos, y por tanto, mejorar la capacidad para albergar aves migratorias durante el invierno o determinar la lámina de agua óptima para su estancia y obtenerla con el sistema de compuertas (Chans y Díaz [2005]).
- *Validación cuantitativa.* La expresión para el error del modelo del epígrafe anterior (figura 6.4, E.6.1) se ha aplicado de forma omnidireccional, mientras que un modelo de error altimétrico anisotrópico es más realista. Una línea a seguir es obtener dos expresiones para el error: en la dirección perpendicular a las pasadas y en la dirección de las pasadas. Esto aportaría una mayor información y un modelo de error altimétrico experimental más cercano al real.
- *Visión de las líneas de solape.* Durante la validación cualitativa se ha constatado que en áreas llanas como la analizada son visibles un conjunto de anomalías según las pasadas del levantamiento en el MDT (figura 2.27). Esto se debe a que las estructuras morfológicas que definen el área del levantamiento tienen unas variaciones altimétricas del orden de la precisión. Estas anomalías se deben a que el proceso de homogeneización de las tiras del levantamiento no es suficientemente preciso para estas áreas. Aunque se ha comprobado que sus valores son aceptables, su aparición en el modelo debe corregirse, aunque sólo sea por motivos estéticos. En estas áreas, la implementación de estrategias para mejorar el post-calibrado de la nube de puntos *ALS* y disminuir los errores sistemáticos sería necesaria (Filin [2001], Schenk [2001a], Schenk [2001b], Skaloud y Lichti [2006]).
- *Definición del filtro de clasificación de la nube de puntos óptimo.* En el proceso de generación de Modelos Digitales del Terreno se pueden continuar los trabajos descritos en la memoria con la implementación de un filtro de clasificación de la nube de puntos óptimo para áreas como la analizada. El filtro es necesario si se tienen en cuenta las grandes diferencias encontradas entre áreas con y sin tratamiento manual (ver figuras 5.44 y 6.5) Este filtro se elaboraría con las recomendaciones apuntadas en el documento. Esto es: segmentación en

ambientes del levantamiento (epígrafe 6.2.1.1.b); el filtro propiamente dicho, basado en superficies o en un bloque mínimo (epígrafe 6.2.1.2); la fusión con datos multiespectrales en el proceso de clasificación para identificar diques y canales; y la detección y tratamiento semiautomático de compuertas y pasarelas.

- *“Inteligencia” de los filtros de clasificación.* Por último, el filtro de clasificación de la nube de puntos debería detectar más clases que *terreno desnudo* y *objeto*. En el caso del levantamiento de Doñana se han recomendado cuatro grupos: terreno desnudo, objetos lineales como diques y canales, objetos sin penetración como edificios, y vegetación (figura 6.12). Estos grupos permiten derivar distintos modelos más robustos para diversas aplicaciones.
- *Identificación de áreas con baja representatividad.* La detección y delimitación de zonas de baja representatividad, expuesta ya en el primer epígrafe como una contribución de esta tesis, tiene algunos puntos a desarrollar para que pueda ser aplicada sistemáticamente a todo un levantamiento (esquema en la figura 6.17). La metodología delimita: áreas con baja representatividad, errores del conjunto de sistemas *GPS/INS*, masas de agua e islas en el modelo. Los dos métodos propuestos para la detección semiautomática de errores del sistema *GPS/INS* se han probado en dos áreas piloto (6.2.2.1a y b). La extensión a todo el levantamiento es una de las líneas a seguir. Los algoritmos de detección de entidades (necesarios en estos dos métodos) no son robustos, y se han adaptado manualmente a cada área. La mejora en la detección de este tipo de estructuras es otra línea de investigación a seguir. La fusión con la información multiespectral para la clasificación y delimitación de las masas de agua no se ha completado, quedando como la última línea abierta en la delimitación de áreas problemáticas, dentro de la línea de semiautomatización del proceso de validación cualitativa en la generación de Modelos Digitales del Terreno.

## GLOSARIO; ABREVIACIONES Y DEFINICIONES

En este epígrafe se definen algunos de los términos usados en la memoria. Algunos son definiciones que se dan para clarificar el término usado. Otros son acrónimos cuya descripción no tiene cabida en el cuerpo de la memoria.

<i>ALS</i>	<i>(Airborne Laser Scanning)</i> / Láser Escáner Aerotransportado. Sistema compuesto por un láser que va barriendo el terreno en una plataforma móvil. El sensor láser mide la distancia a puntos de un objeto con la emisión / recepción de energía de luz polarizada (láser).
Artefacto	Superficie detectable, generalmente en un Modelo Digital de Elevaciones, con restos de elementos que se encuentran sobre el terreno desnudo (árboles, edificios, puentes,...) y deberían haberse eliminado para la aplicación del modelo, o que no tienen ninguna similitud con el terreno real y se deben a algún error de la tecnología con que se ha generado el modelo.
<i>BP</i>	<i>(Before Present)</i> . Sistema de medida de años usado en datación por isótopos y cuya referencia es el año 1950.
Baselínea	Línea en el espacio que une dos puntos en el espacio que graban información comparable. En el caso de estaciones <i>GPS</i> une dos observables <i>GPS</i> . En el caso de radar, la distancia entre dos posiciones que permiten derivar elevaciones con suficiente precisión.
<i>CCD</i>	<i>(Charged Coupled Device)</i> /Dispositivo de carga acoplada. Dispositivo sensible a la luz dispuesto de forma rectangular con miles de células fotoeléctricas. Cada celda transmite su carga eléctrica a un conjunto de condensadores que interpretan la energía captada. Se usa (entre otras aplicaciones) en los instrumentos fotográficos modernos.
<i>DGPS</i>	<i>(Differential Global Positioning System)</i> / Sistema de posicionamiento global diferencial. Modo de trabajo <i>GPS</i> en que se emplea de forma autónoma con un receptor recibiendo correcciones de pseudodistancias vía satelital con un radio-enlace.
<i>ED50</i>	<i>(European Datum 1950)</i> / Datum europeo 1950. Datum usado por la mayoría de países europeos hasta el presente para elaborar su cartografía. Usa el elipsoide de Hayford y como punto astronómico fundamental Potsdam.
<i>ETRS89</i>	<i>(European Terrestrial Reference System)</i> / Sistema terrestre de referencia europeo. Nuevo sistema de referencia europeo. Usa el elipsoide <i>GRS80</i> . El datum se hizo coincidir en 1989 con el sistema de Referencia Terrestre Internacional ( <i>ITRS</i> ), pero se fijó a la placa continental europea. Desde entonces, ésta, ha tenido una deriva de unos 3cm/año.
<i>FOV</i>	<i>(Field of view)</i> / Campo de visión. Ángulo de apertura del sensor.
Georeferenciar	Una imagen georeferenciada es aquella en que las coordenadas del terreno pueden ser traspasadas al espacio bidimensional de la imagen y viceversa.
<i>GPS</i>	<i>(Global Positioning System)</i> / Sistema de Posicionamiento Global. Sistema del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América que comprende unos 24 satélites en órbita. Permite obtener la posición de un punto con precisión variable, desde unos metros de error hasta unos pocos milímetros.
<i>GPS-RTK</i>	<i>(GPS Real Time Kinematic)</i> / Posicionamiento cinemático en tiempo real. Método <i>GPS</i> en el que se obtienen en tiempo real las coordenadas del punto deseado con precisión centimétrica. Se trabaja conjuntamente con dos equipos. Se ha de trabajar en un entorno de 5km a 10km de distancia al punto de coordenadas conocidas o base.

<i>HRIOI</i>	<i>(High Resolution Interpolated On The Image)</i> / Alta resolución interpolada en la imagen. Método de fusión de datos. Se genera un MDE con la resolución de la imagen.
<i>IFOV / <math>\gamma</math></i>	<i>(Instantaneous Field Of View)</i> / Campo de visión instantáneo. Es la divergencia del sensor láser. Se define como $IFOV=2.44*\lambda/\phi$ siendo $\lambda$ la longitud de onda del sensor y $\phi$ la apertura del emisor.
<i>IMU</i>	<i>(Inertial Measurement Unit)</i> / Unidad de medidas inerciales. Unidad del sistema de navegación inercial ( <i>INS</i> ), donde se miden los cambios de velocidad y de orientación de un objeto móvil mediante acelerómetros y giroscopios.
<i>INS</i>	<i>(Inertial Navigation System)</i> / Sistema de navegación inercial. Sistema que mediante la medida de aceleraciones y giros permite obtener la trayectoria del objeto que lo contiene. Se compone de una unidad de medidas inerciales ( <i>IMU</i> ) y un procesador de la navegación.
<i>InSAR</i>	<i>(Interferometric Synthetic Aperture Radar)</i> / Interferometría radar de apertura sintética. Sistema radar aerotransportado o satelital, con el que se obtiene coordenadas tridimensionales del terreno y los objetos que se encuentran sobre él. Se basa en la comparación de los rebotes de dos señales en la banda de las microondas, emitidas y captadas desde dos puntos a una distancia apropiada.
<i>IOI</i>	<i>(Interpolation on the image)</i> / Interpolación en la imagen. Método de fusión de datos. Esencialmente cada punto <i>LiDAR</i> se sitúa en la imagen y se crea otra imagen con la resolución de los datos <i>LiDAR</i> .
<i>KAR</i>	<i>(Kinematic Ambiguity Resolution)</i> / Resolución cinemática de ambigüedades. Algoritmo de resolución de la posición <i>GPS</i> para un medio móvil.
<i>LiDAR</i>	<i>(Light Detection And Ranging)</i> / Detección y medida de distancias con luz (generalmente láser). Sistema para la obtención de puntos de una superficie con un sensor láser. El resultado es una nube de puntos con coordenadas. Algunos autores utilizan este término como sinónimo de <i>ALS</i> .
Línea de rotura	<i>(Breakline)</i> .Línea que define un cambio de pendiente a lo largo de su extensión.
<i>MDE / DEM</i>	Modelo Digital de Elevaciones / <i>(Digital Elevation Model)</i> . Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altura de una superficie. En algunos países se entiende como sinónimo de <i>MDT</i> .
<i>MDS / DSM</i>	Modelo Digital de la Superficie / <i>(Digital Surface Model)</i> . Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altura de la superficie donde, además del terreno, se consideran también los elementos enlazados a él (edificios, vegetación,...).
<i>MDT / DTM</i>	Modelo Digital del Terreno / <i>(Digital Terrain Model)</i> . Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altura de una variable cuantitativa y continua del terreno (si no se especifica ninguna variable concreta, la denominación <i>MDT</i> se entiende referida al terreno desnudo, sin árboles o edificios). En algunos países se entiende como sinónimo de <i>MDE</i> .
<i>OTF</i>	<i>(On the Fly)</i> / “iniciación sobre la marcha”. Algoritmo de inicialización para el sistema <i>GPS</i> en modo cinemático que permite fijar las ambigüedades en movimiento.
<i>PDOP</i>	<i>(Position Dilution of Precision)</i> / Pérdida de precisión en la posición. Valor adimensional que indica la calidad de una medida <i>GPS</i> en función del número de satélites y su disposición. Por debajo de 4 indica buena calidad, entre 4 y 8 aceptable y por encima de 8, mala.

PORI	<i>(Pseudo Ortho Rectificated Image)</i> / Pseudo ortorectificación de la imagen. Método de fusión de datos. Básicamente, se usa la información altimétrica de un MDT para rectificar cada píxel de la imagen.
RMS	<i>(Root Mean Squared)</i> / Error medio cuadrático de una variable. Se calcula como: $RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}{n}}$ $n = \text{número de medidas}$ $x_i = \text{medidas}$
SAR	<i>(Synthetic Aperture Radar)</i> / Radar de Apertura Sintética. Tipo de radar que aprovecha el movimiento relativo entre dos puntos de observación y un mismo objeto. El resultado es similar al obtenido con un radar con una antena del tamaño de la distancia entre los dos puntos de observación. Tras el procesado de la señal se puede obtener la forma o modelo del objeto.
SNR	<i>(Signal Noise Ratio)</i> / Relación señal - ruido. Es una medida de la calidad de una señal.
SRTM	<i>(Shuttle Radar Topographical Mission)</i> / Misión topográfica Radar <i>Shuttle</i> . Proyecto internacional de la Agencia de Inteligencia Geoespacial Nacional (NGA) y la NASA estadounidenses (además de las agencias espaciales alemanas e italianas) con la misión de obtener un Modelo Digital de Elevaciones global. El sistema, compuesto por dos antenas separadas con un mástil desplegable de 60m, se montó en el trasbordador espacial <i>Endeavour</i> y realizó la misión (STS-99) durante 11 días en febrero del 2000. El modelo obtenido (con <i>InSAR</i> ) está organizado en hojas de 1° de latitud y longitud. El ancho de malla es de 1" para E.U.A y de 3" para el resto del mundo en el modelo de distribución pública.
TIN	<i>(Triangle Irregular Network)</i> / Red de Triángulos Irregular. Estructura para modelos con puntos distribuidos de forma irregular que permite modelizar superficies mediante una red de triángulos con valores de "z" en los nodos o vértices del triángulo.
UTM	<i>(Universal Transversa Mercator)</i> / Proyección Universal Transversa Mercator. Sistema de proyección cartográfico que usa 30 cilindros con eje en el plano ecuatorial para desarrollar la información elipsoidal en zonas fusiformes de 6° de longitud denominadas "husos", de los cuales hay 60. El huso 1 se encuentra entre las longitudes 180° y 174° oeste y crecen en numeración hacia el este.
WGS-84	<i>(World Geodetic System 1984)</i> / Sistema geodésico global definido en 1984. Sistema de referencia y datum usado por el sistema de posicionamiento global <i>GPS</i> . El elipsoide usado se llama también <i>WGS-84</i> . A efectos prácticos y hasta el nivel centimétrico, este datum coincide con el <i>ETRS89</i> .



## REFERENCIAS

- Applanix. Página WEB. Página de inicio: <http://www.applanix.com> Último acceso: 02/03/2006
- Axelsson, P. (1999). "Processing of laser scanner data; algorithms and applications". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* vol. 54(2-3): pg.138-147.
- Baltsavias, E. P. (1999a). "Airborne laser scanning: basic relations and formulas". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* vol. 54(1): pg.199-214.
- Baltsavias, E. P. (1999b). "Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* vol. 54(1): pg.164-198.
- Baltsavias, E. P. (1999c). "A comparison between Photogrammetry and Laser Scanning". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* vol. 54(2-3): pg.83-94.
- Barragán, F. J. (2001). "Coria del Río, en relación a sus pueblos colindantes. Panorama en tiempos de Carlos III (1786)". [En línea]. Dirección: <http://www.ayto-coriadelrio.es/> Accedido: 10-11-2006.
- Bayán, B. (2005). "Los caminos del agua en la Marisma: los cambios en la red hidrológica". *Doñana Agua y Biosfera. Capítulo 3* (ISBN: 84-609-6326-8). C. H. d. G. Ministerio de Medio Ambiente, Doñana 2005. Sevilla: pg.143-147.
- Bayán, B., Delibes, M. (1986). "Doñana, con el agua al cuello". *Cauce 2000* vol. 5: pg.72-77.
- Bayán, B., Dolz, J. (1995). "Las aguas superficiales y la Marisma del Parque Nacional de Doñana". *Revista de obras públicas* vol. 3340: pg.17-29.
- Bladé, E., de Pourcq, K. (2006). "Estudio de la hidrodinámica de la marisma de Doñana. Avance de resultados del modelo numérico". Informe para "Doñana 2005" del grupo, FLUMEN - UPC (Universidad Politécnica de Cataluña). Sevilla. 24 noviembre 2006: 19 pg.
- Borges, F., Rotundo, O., Wilson, G. (2004). "Estimativa de batimetria utilizando sensoriamento remoto e Krigagem Bayesiana. Estudo de caso: reservatório Morro Grande, Rio de Janeiro". XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica., Sao Pedro, Brasil.: 10 pg.
- Briese, C., Pfeifer, N. (2001). "Airborne Laser Scanning and derivation of Digital Terrain Models". Proceedings 5th conference on optical 3D measurement techniques, Viena, Austria: 8 pg.
- Carrillo, E., Ferrero, E., Alonso-Andicoberry, L. M., Basanta, A., Martin, A., López Rodas, V., Costas, E. (2003). "Interstrain variability in toxin production in populations of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* from water-supply reservoirs of Andalusia and lagoons of Doñana National Park (southern Spain)". *Phycologia* vol. 42(3): pg. 269-274.
- Castells, M., Cruz, J., Custodio, E., García Novo, F., Guadamar, J. P., González Vallve, J. L., Granados, V., Macraner, A., Roman, C., Smart, M., Van der Maarel, E. (1992). "Dictamen sobre estrategias para el desarrollo socioeconómico sostenible del entorno de Doñana", Consejería de Obras Públicas y Transportes. Sevilla, ISBN: 84-8095-004-8: 123 pg.
- Castillo, E., Bayarri, V. (2005). "Aplicación de técnicas robustas para la estimación de profundidades en el puerto de Santoña con sensores aerotransportados de alta resolución. Aplicación a la bahía de Santander". 6ª Semana Geomática., 8-10/02/2005, Barcelona: 10 pg.
- Chans, J. J., Díaz, R. (2005). "Seguimiento y Evaluación; claves del Proyecto de Restauración de Doñana 2005". *Doñana Agua y Biosfera, Capítulo 3C*. C. H. d. G. Ministerio de Medio Ambiente, Doñana 2005. Sevilla: pg.319-326.
- Chuvieco, E. (1996). "Fundamentos de teledetección espacial", Ediciones RIALP. Madrid, ISBN: 84-321-3127-X: 453 pg.
- Cobby, D. M., Mason, D. C., Davenport, I. J. (2001). "Image processing of airborne scanning laser altimetry data for improved river flood modelling". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* vol. 56(2): pg.121-138.
- Crombaghs, M., Oude, S., Brügmann, R., de Min, E. (2002). "Assessing height precision of laser altimetry DEMs". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Volume:XXXIV; Part 3A. ISPRS Comision III, WG III/3, 9-13/09/2002, Graz, Austria: 6 pg.



- Crosetto, M. (2002). "Calibration and validation of *SAR* interferometry for *DEM* generation". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing vol. 57(3): pg.213-227.
- Custodio, E., Palancar, M. (1995). "Las aguas subterráneas en Doñana". Revista de obras públicas vol. 3340: pg.31-53.
- EAARL. Página WEB. Página de inicio: (NASA) <http://inst.wff.nasa.gov/eaarl/> Último acceso: 31/07/2007
- Elmqvist, M., Jungert, E., Lantz, F., Persson, A., Söderman, U. (2001). "Terrain modelling and analysis using laser scanner data". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing vol. XXXIV(3/W4, Annapolis): pg.219-226.
- Felícísimo, A. M. (1994). "Parametric statistical method for error detection in digital elevation models". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing vol. 49(4): pg.29-33.
- Felícísimo, A. M. (1999). "Modelos Digitales del Terreno". [En línea]. Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad de Vigo. Dirección: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/index2.html> Accedido: 02/08/2005.
- Filin, S. (2001). "Recovery of systematic biases in laser using natural surfaces." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing vol. XXXIV(3/WG4): pg.85-91.
- Filin, S., Pfeifer, N. (2006). "Segmentation of airborne laser scanning data using a slope adaptive neighborhood". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing vol. 60(2): pg.71-80.
- Fisher, P. (1998). "Improved Modeling of Elevation Error with Geostatistics". Geoinformatica vol. 2(3): pg.215-233.
- FOTONOR (2003), "Processing Report Project Donana". Informe del procesado *LiDAR* realizado por FOTONOR.A.S. 20/02/2003: 23 pg.
- García Viñas, J. I. (2003). "Dinámica vegetal de la Marisma del Parque Nacional de Doñana en relación con el régimen hidráulico". Tesis Doctoral. Director/es: Juan Ruiz de la Torre y Juan Angel Mintegui Aguirre. Escuela Técnica Superior de Montes de Madrid (ETSIM). Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid.
- GEA (2002), "Realización de un modelo digital del terreno de alta precisión de las marismas del Parque Nacional de Doñana". GEA - CARTOGRAFÍA. San Juan de Aznalfarache (Sevilla). 03/12/2002: 32 pg.
- Gili, J. A., González, J., Puig, C., Lantada, N., Buill, F., Ibáñez, E., Núñez, A., López, R. (2003). "Perfiles GPS-RTK para el estudio del Manto Eólico Litoral del Parque Nacional de Doñana". 5ª Semana Geomática, 9-13/02/2003, Barcelona: 8 pg.
- Gili, J. A., Ibáñez, E. (2007). "Airborne laser scanning survey over the Doñana National Park (Spain)". Optical 3D measurement techniques, 09-12/07/2007, Zurich: 7 pg.
- Gili, J. A., Núñez, A., Martín, A., Puig, C., Lantada, N., Buill, F., López, R., Corral, I., González, S., Ibáñez, E. (2002). "Marco de referencia geodésico para trabajos topográficos e hidrográficos mediante GPS en el Parque Nacional de Doñana (España)". 3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Febrero 2002, Valencia: 4 pg.
- Gili, J. A., Puig, C., Buill, F., Lantada, N., López, R., González, S. (2000). "Estimación de un modelo de geoide local para navegación y posicionamiento GPS de precisión en la marisma de Doñana". 4ª Semama Geomática, Sitges. Barcelona: pg.325-335.
- Gomes, L. M., Janssen, L. L. F. (1999). "Suitability of laser data for DTM generation: a case study in the context of road planning and design". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing vol. 54(4): pg.244-253.
- Gomes, L. M., Wicherson, R. J. (1999). "Suitability of laser data for deriving geographical information: A case study in the context of management of fluvial zones". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing vol. 54(2-3): pg.105-114.
- Guenther, G. C., Grant, A., LaRocque, P. E., Reid, D. J. (2000). "Meeting the accuracy challenge in Airborne LiDAR Bathymetry". EARSeL-SIG, 16-17/06/2000, Dresden (Alemania): 27 pg.
- Horne, R. **Programa: 3DEM** [En línea] versión 19.0 (2004). Disponible en: <http://www.visualizationsoftware.com/3dem.html> . Fecha de acceso: 2003.

- Huising, E. J., Gomes, L. M. (1998). "Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning for topographic applications". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing vol. 53(5): pg.245-261.
- Ibañez, E. (2001). "Medida de la variación de sedimentos en la marisma de Doñana a partir de levantamientos topográficos de precisión". Tesina de especialidad. Director/es: J.A. Gili Ripoll, N. Lantada Zarzosa, C. Puig Polo. Escola Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Barcelona (ETSECCPB). Departamento de Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica (ETCG). Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). UPC. Barcelona: 54 pg.
- Ibañez, E. (2003). "Experiencias en la monitorización de cambios subdecimétricos en la marisma del Parque Nacional de Doñana". 5ª Semana Geomática, 11-14/02/2003, Barcelona: 9 pg.
- Ibañez, E. (2007). "Validación del Modelo Digital del Terreno generado con Láser Escáner Aerotransportado (*LiDAR*) en la zona de Matagordas (N del P.N. Doñana)". Tesina de Especialidad. Director/es: J.A. Gili, Nieves Lantada. Escola Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Barcelona (ETSECCPB). Departamento de Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica (ETCG). Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). UPC. Barcelona. 7 junio 2007: 105 pg.
- Ibañez, E., Gili, J., Dolz, J., Bayán, B. (2007). "M.D.T. de precisión de la Marisma del P.N. de Doñana mediante Láser Escáner Aerotransportado (*LiDAR*)". 7ª Semana Geomática, 20-23/02/2007, Barcelona: 10 pg.
- IGI. Página WEB. Página de inicio: <http://www.igi-ccns.com> Último acceso: 02/03/2006
- IGN (1992). "MTN50 (Mapa Topográfico Nacional)". [Impreso]. 1:50000. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- IGN (1997). "Parque Nacional de Doñana (Mapas turísticos IGN)". [Impreso]. 1:50000. IGN (Instituto Geográfico Nacional), Madrid.
- IGN (2002). "MTN25 (Mapa Topográfico Nacional)". [Impreso]. 1:25000. IGN (Instituto Geográfico Nacional), Madrid.
- IGN (2003-2004). "MTN25RS (Mapa Topográfico Nacional en formato raster)". [Digital]. 1:25000. IGN (Instituto Geográfico Nacional), Madrid.
- iMAR. Página WEB. Página de inicio: <http://www.imar-navigation.de> Último acceso: 02/03/2006
- Irish, J. L., Lillycrop, W. J. (1999). "Scanning laser mapping of the coastal zone: the SHOALS system". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing vol. 54(1): pg.123-129.
- Janeras, M., Navarro, M., Arnó, G., Ruiz, A., Kornus, W., Talaya, J., Barberà, M., López, F. (2004). "LiDAR applications to rock fall hazard assessment in Vall de Nuria". 4TH ICA Mountain Cartography Workshop, 30-09-2004/02-10-2004, Vall de Nuria, Cataluña, España: 14 pg.
- Jenson, S. K., Domingue, J. O. (1988). "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing vol. 5(11): pg.1593-1600.
- Junta de Andalucía (1975). "Mulhacén". [Digital]. 1:10.000. Junta de Andalucía - Consejería de Obras Públicas y Transportes, Sevilla. Acceso al visualizador: [http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/www/jsp/estatica.jsp?pma=3&ct=8&pmsa=7&c=cartografia/descargas/descarga\\_programas.es.html](http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/www/jsp/estatica.jsp?pma=3&ct=8&pmsa=7&c=cartografia/descargas/descarga_programas.es.html) Fecha de acceso: Marzo 2004.
- Katzenbeisser, R. (2004). "Calibration and data validation of a lidar fiber scanner". ASPRS Annual Conference, 29/05/2004, Denver: 7 pg.
- Kilian, J., Haala, N., Englich, M., Englich, M. (1996). "Capture and evaluation of airborne laser scanner data". Archives of photogrammetry and remote sensing v.31, Viena: pg.383-388.
- Kornus, W., Ruiz, A. (2003). "Strip Adjustment of LiDAR data". 5ª Semana Geomática, 02/2003, Barcelona: 4 pg.
- Kraus, K., Pfeifer, N. (1998). "Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing vol. 53(4): pg.193-203.

- Kraus, K., Pfeifer, N. (2001). "Advanced DTM generation from LiDAR data." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing vol. XXXIV(3/W4): pg.22-24.
- LADS. Página WEB. Página de inicio: (Tenix LADS corporation) <http://www.tenix.com> Último acceso: 30/07/2007
- Latypov, D. (2002). "Estimating relative LiDAR accuracy information from overlapping flight lines". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing vol. 56(4): pg.236-245.
- Lee, H. K., Wang, J., Rizos, C., Grejner-Brzezinska, D. (2004). "Analyzing the Impact of Integrating Pseudolite Observables into a GPS/INS System". Journal of Surveying Engineering vol. 130(2): pg.95-103.
- Lee, H. S., Younan, N. (2003). "DTM extraction of Lidar Return Via Adaptive Processing". IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING vol. 41(9): pg.2063-2069.
- Leica. Página WEB. Página de inicio: <http://www.leica-geosystems.com> Último acceso: 02/03/2006
- Leick, A. (2004). "GPS Satellite surveying", Interscience. New York, ISBN: 978-0-471-05930-1: 464 pg.
- Lemmens, M. (2007). "Product Survey on Airborne Laser Scanners". GIM International. vol. 21(2): pg.24-27.
- Lindenberger, J., Friess, P., Sizgoric, S. (2003). "Laser Ranging, LiDAR". Master SC in Airborne Photogrammetry and Remote Sensing. Castelldefels. 10/2003.
- Lindenberger, J., Friess, P., Tuell, G. (2004). "Laser Ranging, LiDAR". Master SC in Airborne Photogrammetry and Remote Sensing. Castelldefels. 10/2004.
- Lozano, E. (2004). "Las aguas subterráneas en los Cotos de Doñana y su influencia en las lagunas". Tesis Doctoral. Director/es: Emilio Custodio Gimena, Marisol Manzano Arellano. Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica (ETCG). Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Barcelona: 412 pg.
- Madsen, S., Zebker, H., Martin, J. (1993). "Topographic Mapping Using Radar Interferometry: Processing Techniques". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing vol. 31(1): pg.246-256.
- Martí, B., Dolz, J., Gili, J. A. (2007). "Monitoring of the flooding and dry-out processes in Doñana National Park for the calibration, refinement and operation of the hydrodynamic model of its marshes". 7ª Semana Geomática, 20-23/02/2007, Barcelona.
- Martín, À. I., Térmens, A. (1998). "El geoide UB91 tornat a visitar: comparació amb DEFLEX'91, DEFLEX'94 i model global EGM96". 1ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica, 02/1998, Aguadulce, Almería: 9 pg.
- Mattis, P., Spencer, K. **Programa: GIMP** versión 2.2.11 (1997-2006). Disponible en: <http://www.gimp.org>.
- Maune, D. F. (2001). "Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual", Bethesda (Md.): American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISBN: 1-57083-064-9: 539pg.
- Measures, R. M. (1992). "Laser Remote Sensing: Fundamentals and applications", Krieger. Malabar (Florida), ISBN: 978-0894646195: 510 pg.
- Mercer, B. (2001). "Comparing LiDAR and IFSAR: What can you expect?" Photogrammetric week, 09/2001, Stuttgart: 9 pg.
- Ministerio\_de\_Medio\_Ambiente (2005). "Informe del estado actual de las actuaciones del proyecto "Doñana 2005"". [En línea]. Ministerio de Medio Ambiente, Doñana 2005, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Agencia Andaluza del Agua (Consejería de Medio Ambiente), Parques Nacionales; Doñana. Dirección: [http://www.mma.es/secciones/el\\_ministerio/organismos/oapn/donana2005/pdf/todas\\_actuaciones\\_donana\\_05.pdf](http://www.mma.es/secciones/el_ministerio/organismos/oapn/donana2005/pdf/todas_actuaciones_donana_05.pdf) Accedido: 06-11-2006.
- Mintegui, J. A., Robredo, J. C. (2001). "Bases para la elaboración de un modelo del terreno de la marisma del Parque Nacional de Doñana : trabajos topográficos y de estimación de la sedimentación", Organismo Autónomo de Parques Nacionales, ISBN: 84-8014-352-5: 244 pg.

- Mintegui, J. A., Robredo, J. C., Sendra, P. J. (2003). "Avenidas torrenciales en el Arroyo del Partido y su incidencia en la Marisma del Parque Nacional de Doñana", Organismo autónomo de Parques Nacionales. Madrid, ISBN: 84-8014-515-3: 373 pg.
- Montes, C., Borja, F., Bravo, M. A., Moreira, J. M. (1997). "Reconocimiento biofísico de espacios naturales protegidos : Doñana, una aproximación ecosistémica", Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla, ISBN: 84-89650-22-5: 325 pg.
- NASA/JPL (2004). "SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)". [Digital]. Resolución 90x90m. Accesible desde: <http://jpl.nasa.gov/srtm>.
- Núñez, A. (2006). "Determinación del modelo de geoide de alta precisión en áreas de pequeña extensión. Aplicación en el Parque Nacional de Doñana". Tesis Doctoral. Director/es: J.A. Gili Ripoll. Departamento de Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica (ETCG). Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Barcelona: 329 pg.
- Núñez, A., Gili, J. A., Martín, A. (2005). "Estudio del geoide en el Parque Nacional de Doñana". 6ª Semana Geomática, 8-10/02/2005, Barcelona: 10 pg.
- OEEPE. Página WEB. Página de inicio: [http://www.geomatics.kth.se/~fotogram/OEEPE/oepe\\_laser\\_examples.htm](http://www.geomatics.kth.se/~fotogram/OEEPE/oepe_laser_examples.htm) Último acceso: 02/05/2006
- Optech. Página WEB. Página de inicio: <http://www.optech.on.ca> Último acceso: 02/03/2006
- Peng, M. H., Shih, T. Y. (2006). "Error assessment in two Lidar-derived TIN Datasets". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing vol. 72(8): pg.933-947.
- Pfeifer, N. (2005). "Airborne laser scanning strip adjustment and automation of tie surface measurement". Boletim de Ciencias Geodesicas vol. 11(1): pg.3-22.
- Rasband, W. S. **Programa: ImageJ** [En línea] versión 1.36b (1997-2006). U. S. National Institute of Health. Bethesda, Maryland, USA. Disponible en: <http://rsb.info.nih.gov/ij/>.
- REDMAR. Página WEB. Página de inicio: <http://www.puertos.es> Último acceso: 09-09-2005
- Richard, H. **Programa: 3DEM** [En línea] versión 19.0 (2004). Disponible en: <http://www.visualizationsoftware.com/3dem.html> . Fecha de acceso: 2003.
- Rodríguez, A. (1998). "Geomorfología del Parque Nacional de Doñana y su entorno", Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, ISBN: 84-8014-246-4: 146 pg.
- Rodríguez, A., Rodríguez, J., Cáceres, L., Clemente, L., Belluomini, G., Manfra, L., Improta, S., Ramón, J. (1996). "Evolución costera de la desembocadura del Guadalquivir en los últimos 6000 años (SW España)". 4º Congreso Nacional de Geología, GEOGACETA vol. 20(5): pg.1086-1088.
- Rodríguez, A., Rodríguez, J., Cáceres, L., Clemente, L., Belluomini, G., Manfra, L., Improta, S., Ramón, J. (1996). "Recent coastal evolution of the Doñana National Park (SW Spain)". Quaternary Science Reviews vol. 15(8-9): pg.803-809.
- Roggero, M. (2001). "Airborne Laser Scanning: Clustering in raw data." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing vol. XXXIV - 3/W4 Annapolis, MD: pg.227-232.
- Romero, C., Romero, P. (1987). "La vegetación de Doñana. Clave plantas leñosas", Mazagón, servicio pedagógico del Camping Doñana playa, ISBN: 84-404-0299-6: 38 pg.
- Rosso, P. H., Ustin, S. L., Hastings, A. (2006). "Use of LiDAR to study changes associated with Spartina invasion in San Francisco Bay marshes". Remote Sensing of Environment vol. 100(3): pg.295-306.
- Ruiz, A. (2000). "Nuevas tendencias en modelado del terreno". Conferencia impartida en el ICC dentro del ciclo de conferencias Luís Carreño del IG (Instituto de Geomática), Barcelona.
- Salvany, J. M. (2004). "Tilting neotectonics of the Guadiamar drainage basin, SW Spain". Earth Surface Processes and Landforms vol. 29: pg.145-160.
- Salvany, J. M., Custodio, E. (1995). "Características litoestratigráficas de los depósitos pliocuaternarios del bajo Guadalquivir en el área de Doñana; implicaciones hidrogeológicas". Revista de la Sociedad Geológica de España vol. 8(1-2): pg.21-31.
- Salvany, J. M., Mediavilla, C., Mantecón, R., Manzano, M. (2001). "Geología del Valle del Guadiamar y áreas colindantes". Boletín Geológico y Minero vol. 112. N° especial: pg.57-68.



- Santamaría, L., Green, A., Díaz, R., Bravo, M. A., Castellanos, E. M. (2005). "La finca de Caracoles un nuevo laboratorio para la ciencia y la restauración de humedales". Doñana Agua y Biosfera. Capítulo 3 (ISBN: 84-609-6326-8). C. H. d. G. Ministerio de Medio Ambiente, Doñana 2005. Sevilla: pg.313-326.
- Schenk, T. (2001a). "Modeling and analyzing systematic errors in Airborne Laser Scanners". Technical notes in photogrammetry vol. 19: 39 pg.
- Schenk, T. (2001b). "Modeling and recovering systematic errors in Airborne Laser Scanners". Proceedings OEEPE workshop in Airborne Laser Scanning and Interferometric SAR for detailed Digital Elevation Models., 1-3/03/2001, Estocolmo: pg.40-48.
- Sevilla, M. J. (1995). "A new gravimetric geoid in the Iberian Peninsula". New Geoids in the world. BGI Bulletin. vol. 77: 17 pg.
- Sevilla, M. J. (1998). "El geoide ibérico IBERGEO95 integrado en la red GPS IBERIA95". 1ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica., 02/1997, Aguadulce, Almería: 6 pg.
- Sithole, G. (2001). "Filtering of Laser Altimetry data using a slope adaptative filter." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing vol. XXXIV - 3/W4 Annapolis, MD: pg.203-210.
- Sithole, G., Vosselman, G. (2003), "ISPRS Comparison of Filters". ISPRS - Commission III, working Group 3. Delf. 08/2003: 29 pg.
- Sithole, G., Vosselman, G. (2004). "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing vol. 59(1): pg.85-101.
- Sithole, G., Vosselman, G. (2005). "Filtering of Airborne Laser Scanner data based on segmented point clouds." Workshop "Laser scanning 2005", 12/14/2005, Enschede, Holanda: pg.66-71.
- Sithole, G., Vosselman, G. (2006). "Bridge detection in airborne laser scanner data". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing vol. 61(1): pg.33-46.
- Skaloud, J., Lichti, D. (2006). "Rigorous approach to bore-sight self-calibration in airborne laser scanning". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing vol. 61(1): pg.47-59.
- Sobel, I., Feldman, G. (1968). "A 3x3 isotropic gradient operator for image processing". Presentado oralmente en el proyecto Artificial de Standford, Standford. Accesible digitalmente en <http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel>.
- Sohn, G., Dowman, I. (2002). "Terrain surface reconstruction by the use of tetrahedron model with the MDL criterion." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 9-13/09/2002, Graz (Austria): pg.336-344.
- Solís, J. (1999). "Topografía de precisión para zonas de marismas". Tesina de especialidad. Director/es: J.A. Gili Ripoll. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Barcelona (ETSECCPB). Departamento de Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica (DETCG). Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Barcelona.
- Solís, J. (2000). "Navegación con GPS para la elaboración de perfiles de precisión en la marisma de Doñana". 4ª Semana Geomática de Barcelona, Sitges - Barcelona: 10 pg.
- STOCKHOLM. Página WEB. Página de inicio: <http://www.stockholmtown.com> Último acceso: 03/05/2006
- TopoSys. Página WEB. Página de inicio: <http://www.toposys.com> Último acceso: 02/03/2006
- Tóvári, D., Pfeifer, N. (2005). "Segmentation based robust interpolation - A new approach to laser data filtering." Workshop "Laser scanning 2005", 12-14/09/2005, Enschede, Holanda: pg.79-84.
- UPC (2002). "Asesoramiento sobre transformaciones de datums en Doñana. Informe IV dentro del convenio C.H.G. - U.P.C." Informe técnico de la Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica (DETCG - UPC). Barcelona. 24/12/2002: 19 pg.
- Valley, S. L. (1965). "Handbook of geophysics and space environments", McGraw Hill. Nueva York, San Francisco, Toronto, Londres y Sidney: 620 pg.

- Vosselman, G. (2002). "On the estimation of planimetric offsets in laser altimetry data". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing vol. XXXIV. Part 3A: 6 pg.
- Vosselman, G. ,Maas, H. G. (2001). "Adjustment and filtering of raw laser altimetry data". OEEPE Workshop on airborne laser scanning and interferometric SAR for detailed digital elevation models, 1-3/03/2001, Estocolmo: 11 pg.
- Wack, R. ,Wimmer, A. (2002). "Digital terrain models from airborne laser scanner data - A grid based approach". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Setembre 9-13 - 2002, Graz - Austria: pg.293-296.
- Walker, K. (2002). "Calibration of Airbone Laser Scanners". Tesis de Master [En línea]. Director/es: El-Sheimy, Naser. Department of Geomatics Engineering. Universidad de Calgary. Calgary: 125 pg.
- Wehr, A. ,Lohr, U. (1999). "Airborne laser scanning - an introduction and overview". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing vol. 54(2-3): pg.68-82.
- Williams, T. ,Kelley, C. **Programa: GNUPLOT** [En línea] versión 4.0 (1986-2004). Disponible en: <http://www.gnuplot.info/>.
- Zazo, C., Dabrio, C. J., Borja, F., Goy, J. L., Lezine, A. M., Lario, J., Polo, M. D., Hoyos, M. ,Boersma, J. R. (1999). "Pleistocene and Holocene sequence of eolian facies in the Huelva coast (South Spain): climatic and neotectonic implications". Geologie en Mijnbouw vol. 77(3-4): pg.209-224.
- Zhang, K., Chen, S.-C., Whitman, D., Shyu, M. L., Yan, J. ,Zhang, C. (2003). "A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne LiDAR Data". IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING vol. 41(4): pg.872-882.



## **ANEJOS**





# ANEJO I:

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE VALIDACIÓN

En esta sección se incluye la información que ha servido como base para la validación del MDT *LiDAR* expuesta en el cuerpo de la memoria. En primer lugar se incluyen las fichas de cada grupo de puntos de la validación cuantitativa del Parque Nacional (tabla 5.3, epígrafe 5.2.1 – capítulo 5). Conjuntamente, también se presentan (en A.I.1.2) los cambios de datum de la información de referencia en áreas y perfiles (del epígrafe 5.2.2). También se incluye (en A.I.2) la comparación con los puntos de ETSIM (tabla 5.2, epígrafe 5.2.1 – capítulo 5).

### A.I.1. INFORMACIÓN DE LA RED GPS DEL PROYECTO MADRE

En este epígrafe se incluye la información del Proyecto MADRE relevante para el proceso de validación. Se describe cómo se ha usado y cómo se ha cambiado en algunos casos su datum para realizar la comparación. Esta información abarca los puntos aislados o singulares (A.I.1.1) y área y perfiles (A.I.1.2).

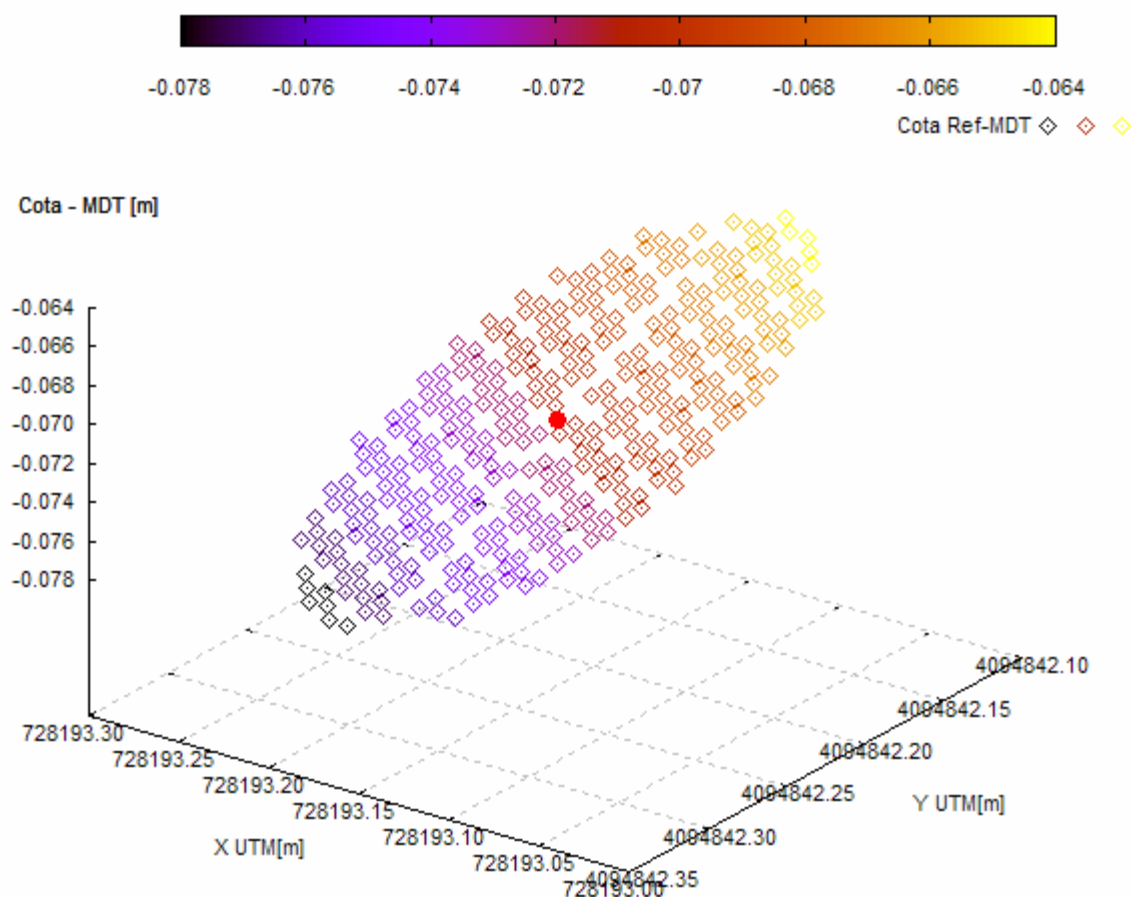
#### A.I.1.1. Puntos Singulares

En este epígrafe se resume la obtención de los valores presentados en la tabla 5.3. El resumen del proceso se incluye en la figura i.1. Para cada punto de la figura se incluyen el valor de la comparación con el Modelo Digital del Terreno, el valor usado para restituir la cota de la señal al terreno (corrección) y un esquema con los puntos *LiDAR* al entorno del punto de 6x6m. El método de cálculo de cada valor ha sido una interpolación bilineal con los cuatro nodos entre los que se encuentra en punto de referencia (dado que esencialmente se encuentran en áreas llanas). Algunos de ellos se encuentran sobre objetos (diques, brocales de pozos,...) y el proceso de clasificación los ha eliminado. Para utilizar ese punto se debe poder restituir su cota al terreno. En algunos casos (como son las compuertas) se han usado los puntos *LiDAR* que han impactado sobre el objeto, generando un modelo local sobre el que se ha interpolado la cota del punto. En ese caso se ha detallado en el campo “comentarios” de la ficha del punto. También se ha extraído un área de 100x100m alrededor del punto de referencia. El objetivo ha sido analizar el entorno en que se encuentra la información de referencia y ver qué se ha representado de este entorno. Se ha usado la información gráfica disponible alrededor del punto de referencia para esta verificación.

Se ha incluido una segunda figura (figura i.2) con los puntos que estando dentro del área del levantamiento han sido excluidos del análisis. La información es la misma que en la figura anterior, junto con una fotografía y un esquema del entorno de cada punto.

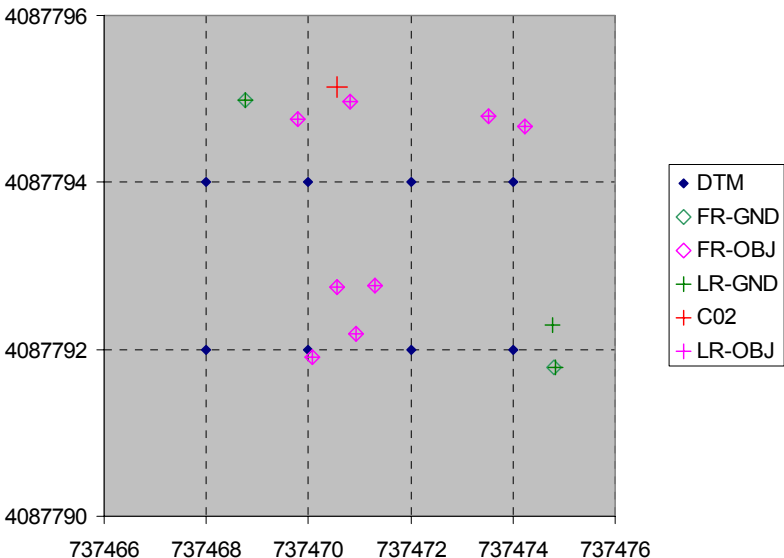
En todos los casos se recomienda consultar las reseñas del Proyecto MADRE de los puntos usados para la comparación. Éstas se incluyen en el anejo IV en formato *PDF*.

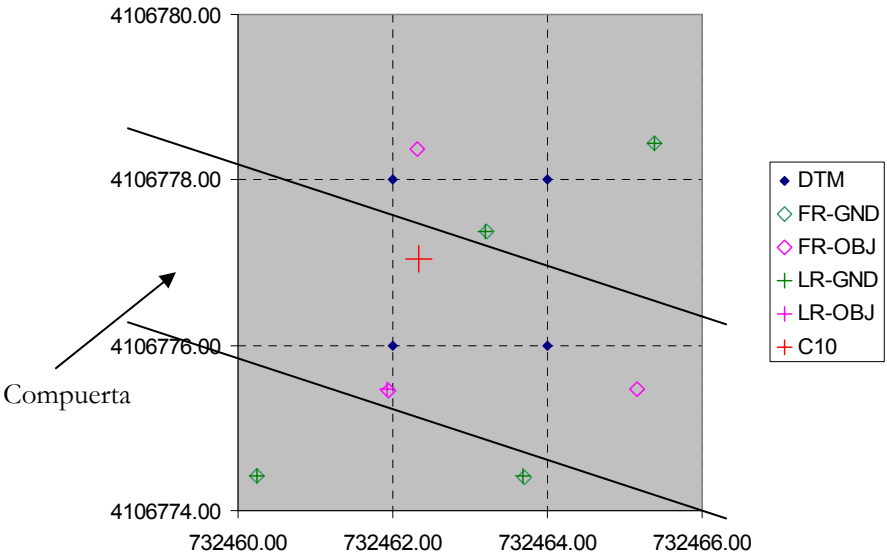
Como comentario marginal en el proceso de comparación de estos puntos se incluye aquí un ejemplo de la influencia de la pendiente local y el diámetro de la huella láser. Para ello se ha escogido uno de los puntos con mayor pendiente en su entorno entre los aceptados para el análisis; GONZ. En la figura i.1 se muestra una diferencia con el MDT de  $-0.071\text{m}$ . El procedimiento seguido ha sido variar las coordenadas planimétricas del punto de referencia recorriendo toda la huella e interpolarlo sobre el MDT. En la se muestran estas diferencias para cada punto analizado. Se observa que la diferencia máxima con el centro de la huella es de  $7\text{mm}$  ( $-0.078$ - $0.071\text{m}$ ). Así se ha comprobado que en los puntos analizados (“puntos singulares”) la pendiente local no influye determinantemente con los tamaños de huella obtenidos.



**Figura I.3.** Diferencias en metros con el modelo en el vértice GONZ modificando las coordenadas del punto de referencia recorriendo toda la huella (explicación en el texto). Coordenadas UTM huso 29N en metros. Datum ED50.

**Figura I.1.** Fichas resumen de los vértices de la red GPS del Proyecto MADRE usados en la validación (FR=primer retorno, LR=último retorno, GND= terreno, OBJ=objeto)

Punto referencia	C02				
TIPO TERRENO	3 – Marisma – Compuerta				
AREA SOLAPE¹	SI				
COORDENADAS	X UTMH29N(ED50)	Y UTMH29N(ED50)	Cota	Corrección	Cota referencia
	737470.561m	4087795.141m	3.302m	0.00m	3.302m
ESQUEMA					
COMENTARIOS	El punto se encuentra en la solera de una compuerta con pasarela para tráfico rodado (elemento 13; epígrafe II.2). Se ha interpolado un modelo seleccionando manualmente los puntos de la solera de la compuerta. Estos son los objetos en el esquema.				
RESULTADO	-0.015m (Cota referencia-MDT)				

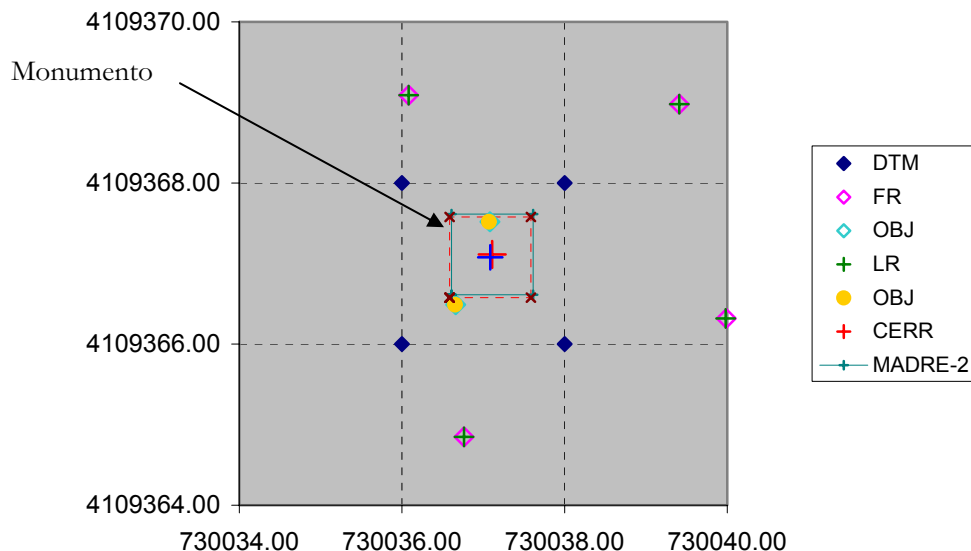
Punto referencia	C10				
TIPO TERRENO	3 – Marisma - Compuerta				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	X UTMH29N(ED50)	Y UTMH29N(ED50)	Cota	Corrección	Cota referencia
	732462.331m	4106777.049m	3.239m	-0.05m	3.189m
ESQUEMA					
COMENTARIOS	Se ha procedido del mismo modo que el caso anterior. Se ha marcado la situación de la solera de la pasarela en que encuentra el punto (elemento 05; epígrafe II.2).				
RESULTADO	0.112 (Cota referencia-MDT)				

<sup>1</sup> Indica que el punto se encuentra en un área cubierta por dos o más pasadas ALS.

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>CERR</b>				
TIPO TERRENO	1 (Marisma – vegetación baja)				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	730037.110m	4109367.112m	2.961m BP	-(1+0.232)m	1.729m

ESQUEMA

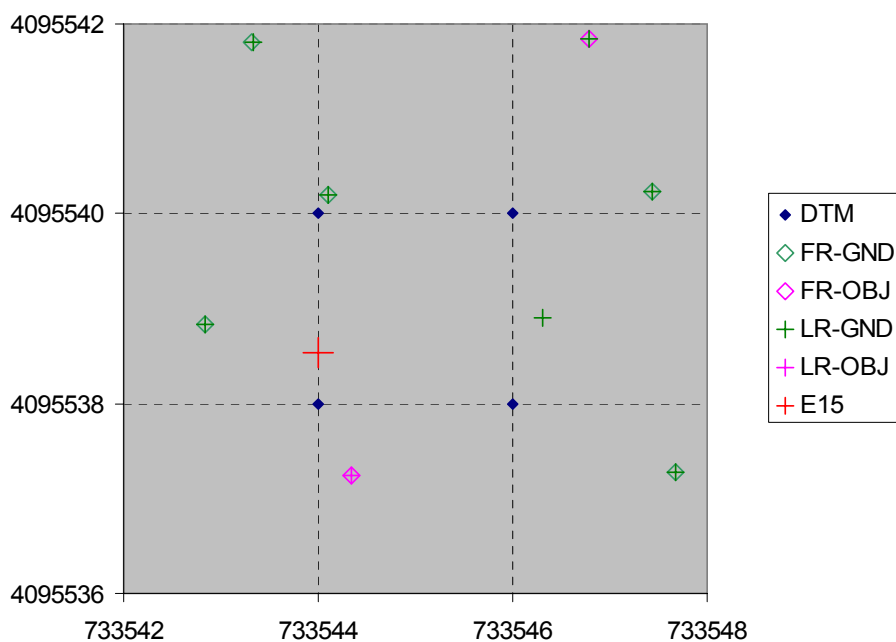


COMENTARIOS Se ha restituido la cota al terreno con 1m del cuerpo inferior del vértice geodésico y 0.232m desde la base del cuerpo al terreno real ya que el vértice está descalzado. En la figura se ha marcado la planta del cuerpo del vértice. (BP= Base pilar). Véase figura 5.4 en el capítulo 5.

RESULTADO 0.081m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>E15</b>				
TIPO TERRENO	1-Marisma – Vegetación baja				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	733544.007m	4095538.528m	0.844m	0.00m	0.844m

ESQUEMA



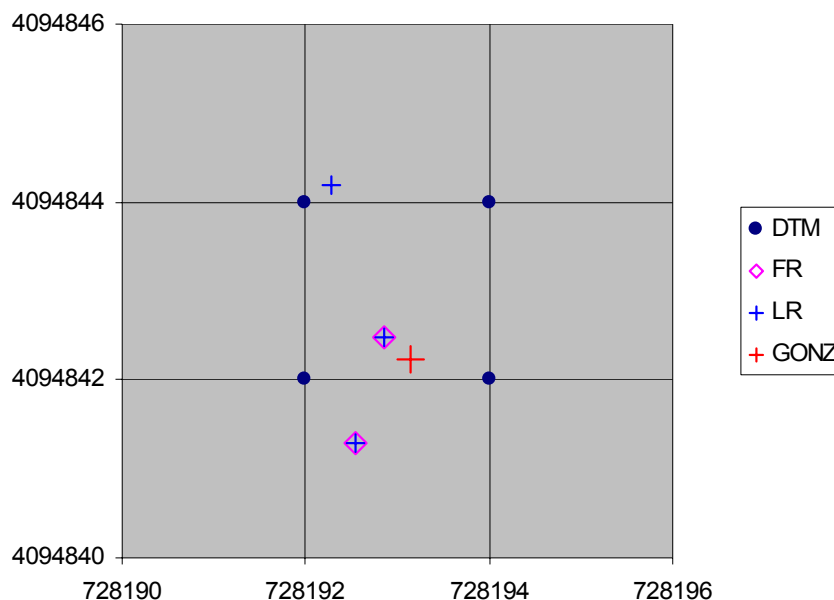
COMENTARIOS

RESULTADO -0.105m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>GONZ</b>				
TIPO TERRENO	2 – Dunas. Vegetación baja				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	728193.146m	4094842.228m	6.165m	0.00m	6.165m

ESQUEMA

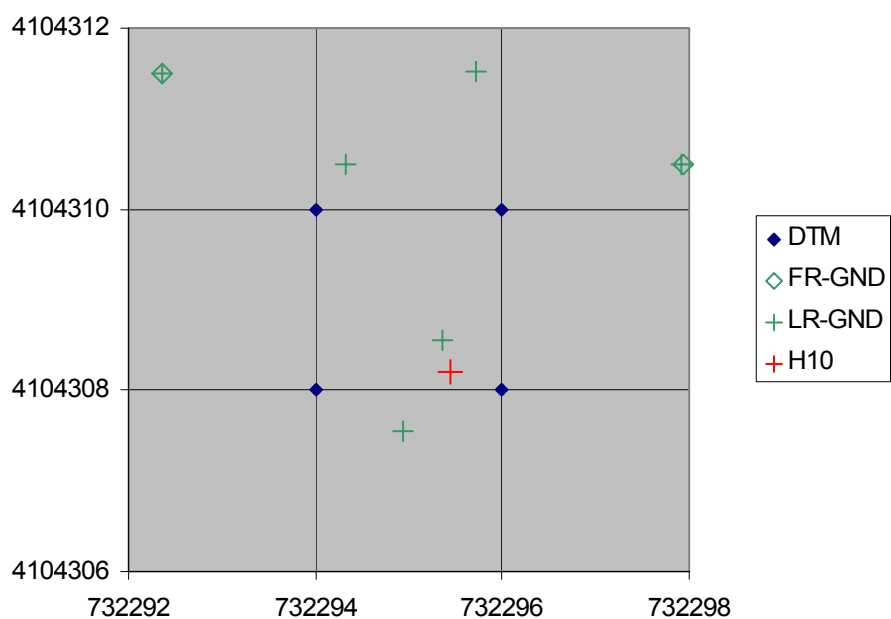


COMENTARIOS

RESULTADO -0.071m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>H10</b>				
TIPO TERRENO	1- Marisma – Terreno desnudo.				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	732295.445m	4104308.210m	1.423m	-0.05m	1.373m

ESQUEMA



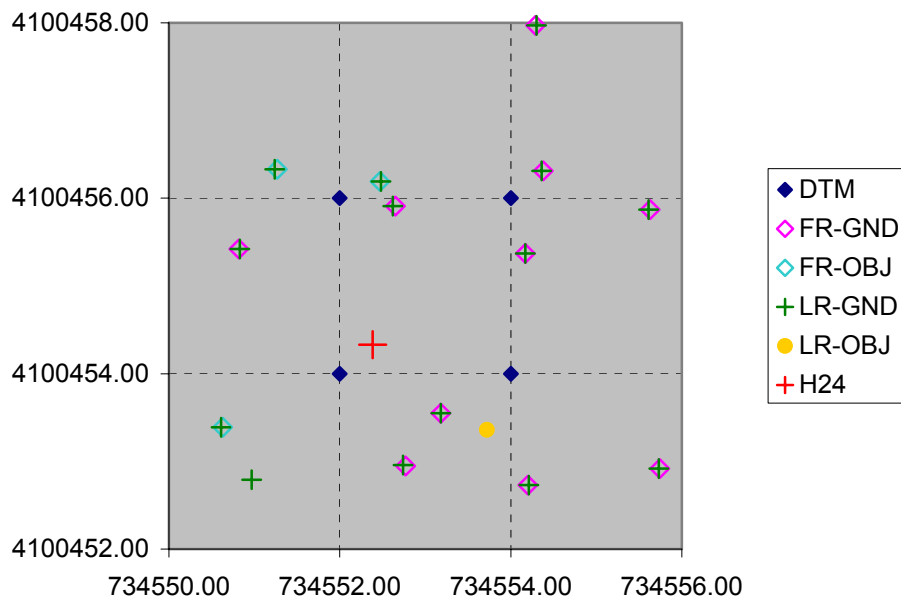
COMENTARIOS

RESULTADO 0.039m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>H24</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – vegetación baja				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	734552.383m	4100454.330m	1.155m	-0.05m	1.105m

ESQUEMA

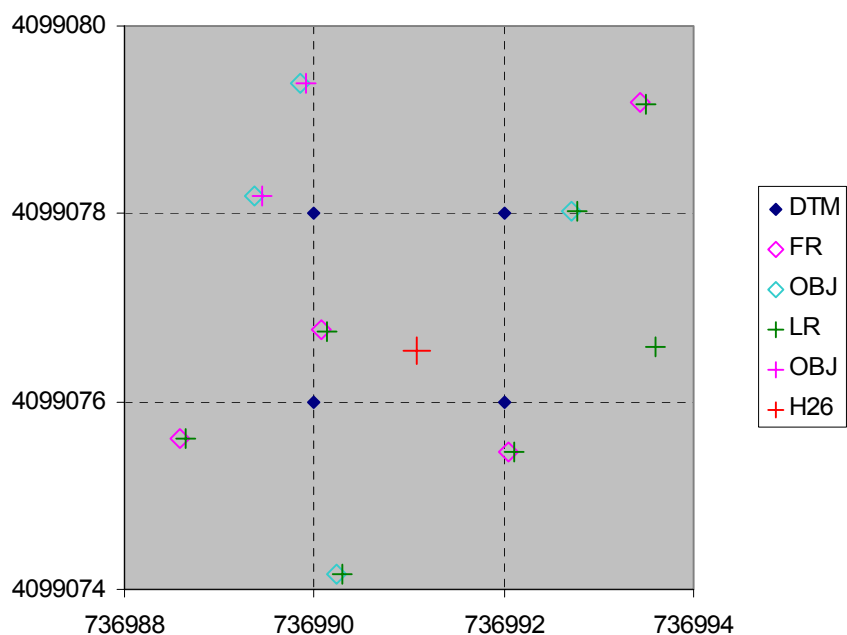


COMENTARIOS

RESULTADO -0.023m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>H26</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – vegetación baja y densidad media.				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	736991.080m	4099076.538m	1.305m	-0.01m	1.295m

ESQUEMA



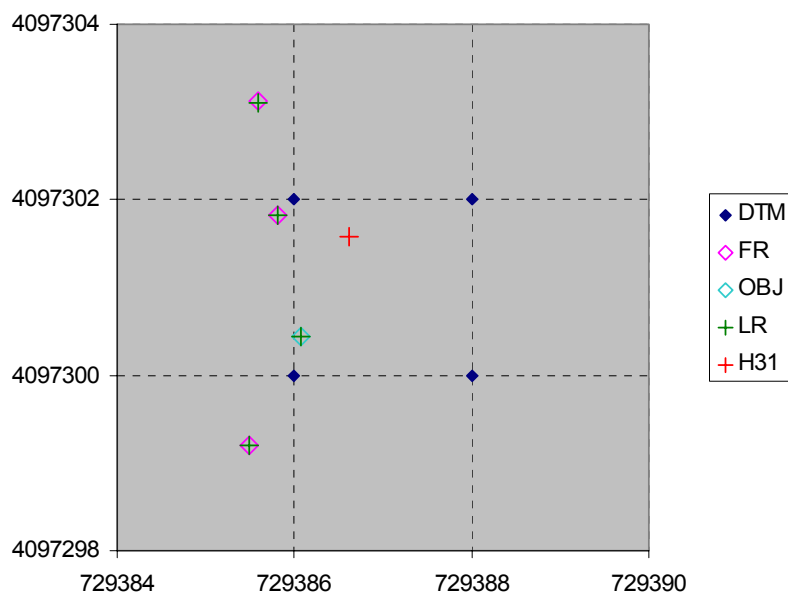
COMENTARIOS

RESULTADO 0.081m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>H31</b>				
TIPO TERRENO	1- Marisma – Terreno desnudo				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	729386.626m	4097301.576m	1.175m	-0.05m	1.125m

ESQUEMA

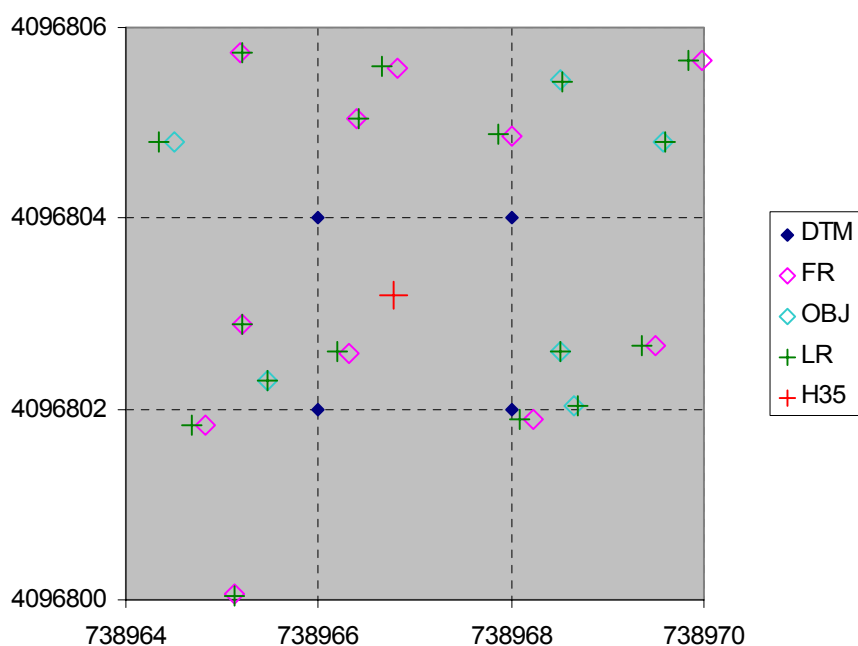


COMENTARIOS

RESULTADO -0.020m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>H35</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – Vegetación baja				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	738966.779m	4096803.196m	1.755m	-0.03m	1.725m

ESQUEMA



COMENTARIOS

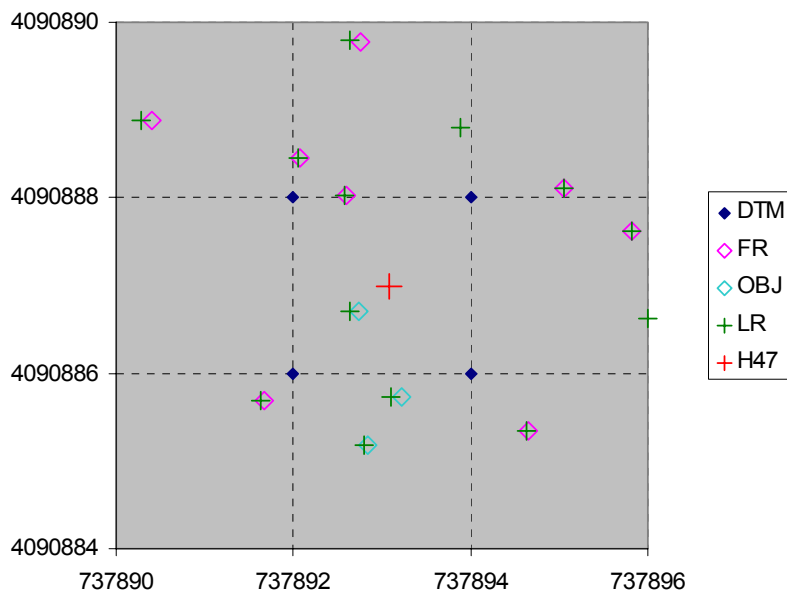
RESULTADO -0.011m (Cota referencia-MDT)



(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>H47</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – Terreno Desnudo				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	737893.073m	4090886.977m	0.868m	-0.05m	0.818m

ESQUEMA

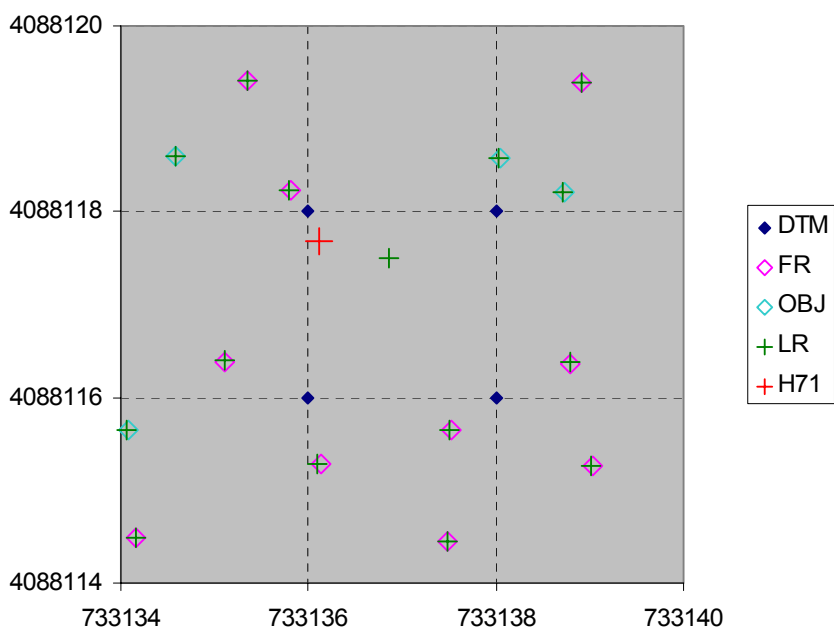


COMENTARIOS

RESULTADO 0.036m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>H71</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – Terreno desnudo				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	733136.124m	4088117.677m	1.101m	-0.05m	1.051m

ESQUEMA



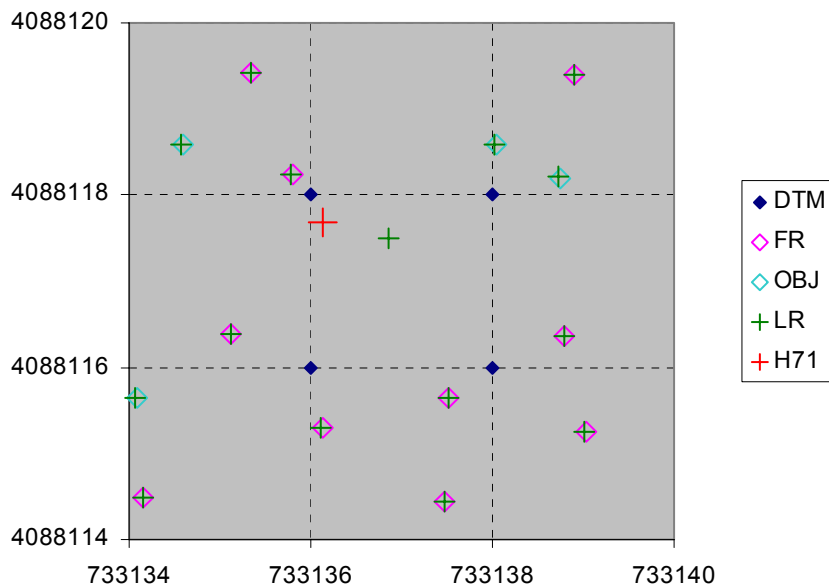
COMENTARIOS

RESULTADO -0.075m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>H88</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – Terreno desnudo				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	734567.468m	4083117.475m	1.374m	-0.05m	1.324m

ESQUEMA

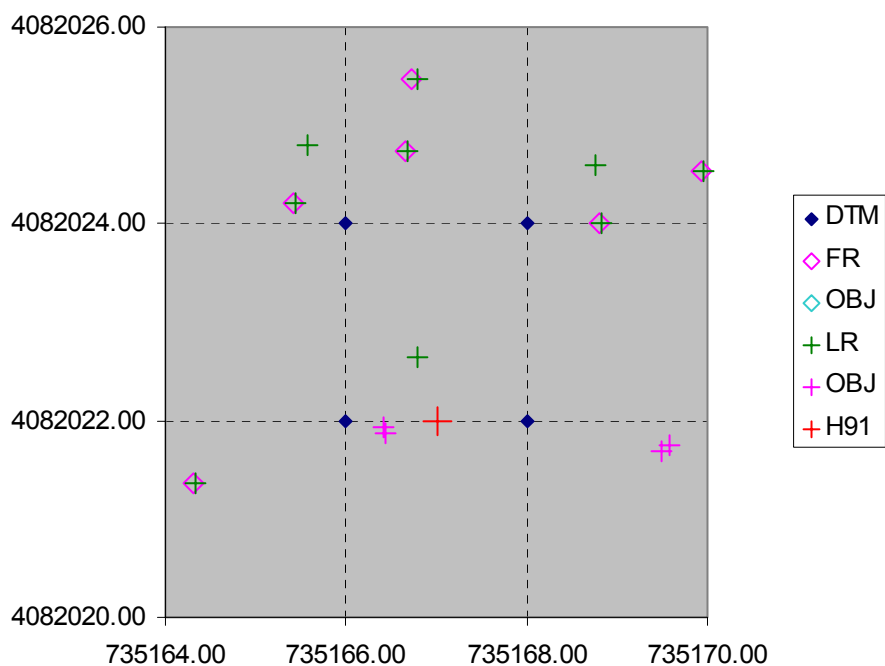


COMENTARIOS

RESULTADO -0.114m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>H91</b>				
TIPO TERRENO	2 – Dunas – vegetación baja.				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	735167.000m	4082022.000m	1.830m	-0.05m	1.780m

ESQUEMA



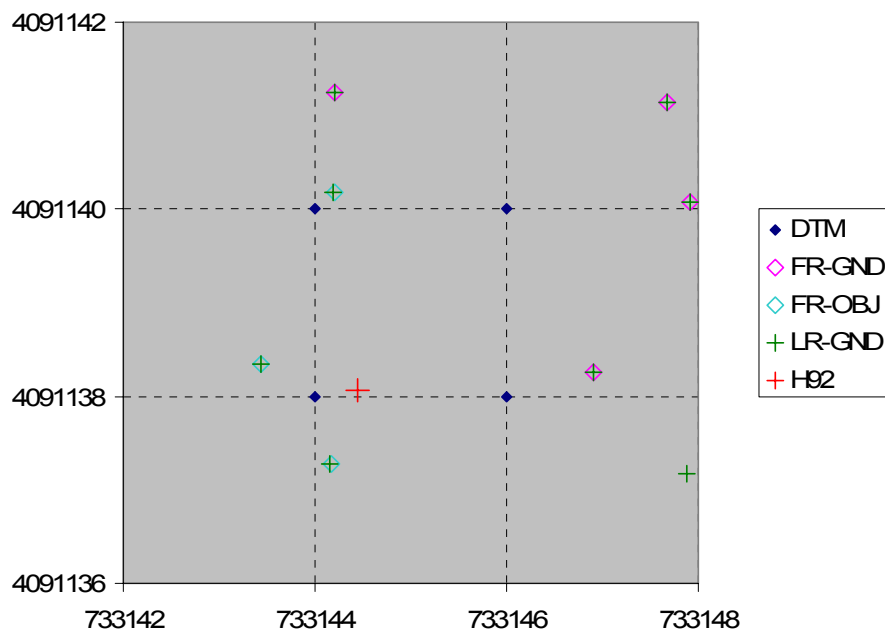
COMENTARIOS

RESULTADO 0.050m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>H92</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – vegetación baja				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	733144.443m	4091138.060m	1.540m	-0.05m	1.490m

ESQUEMA

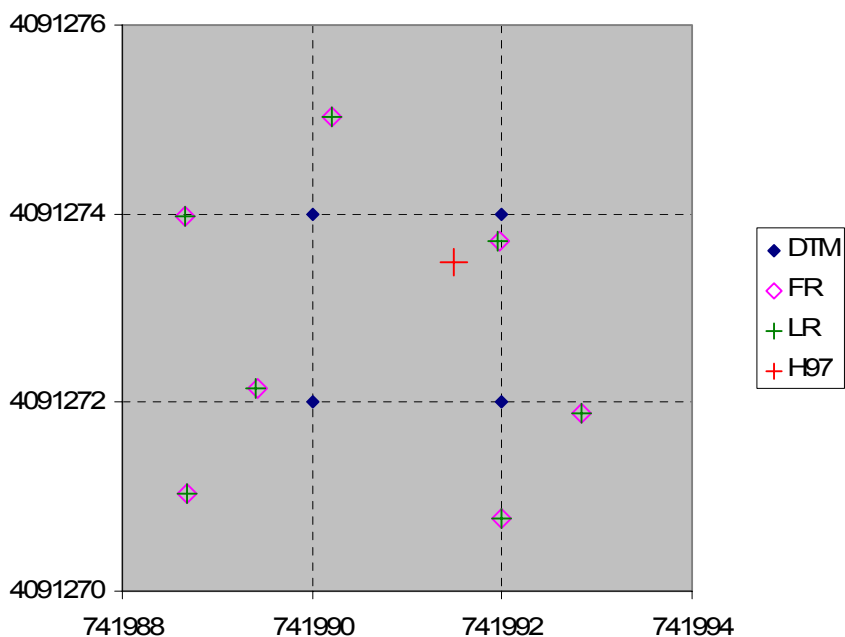


COMENTARIOS

RESULTADO -0.095m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>H97</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – terreno desnudo				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	741991.490m	4091273.484m	1.296m	-0.05m	1.246m

ESQUEMA



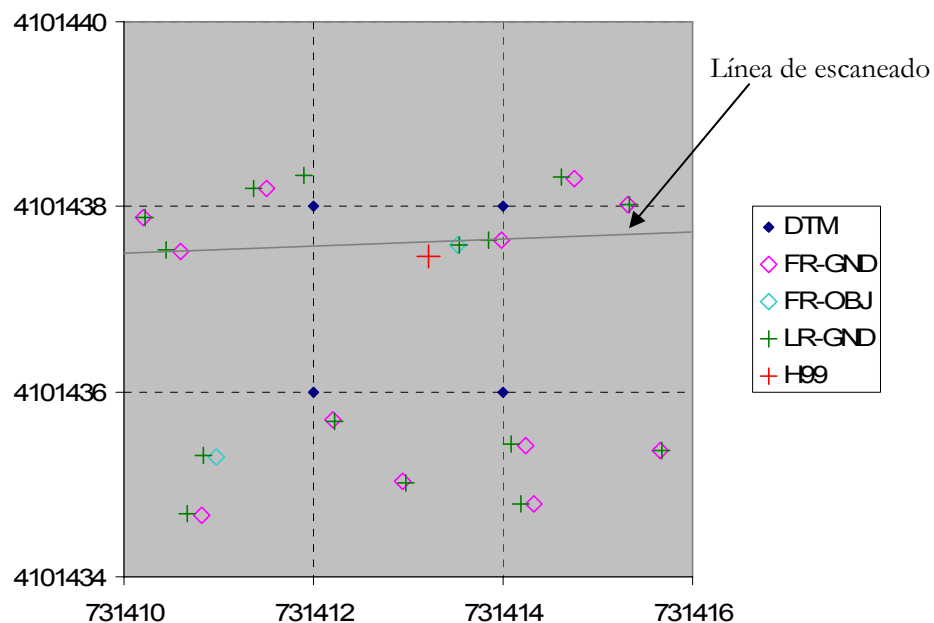
COMENTARIOS

RESULTADO -0.033m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>H99</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – terreno desnudo.				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	731413.219m	4101437.462m	1.834m	-0.05m	1.784m

ESQUEMA

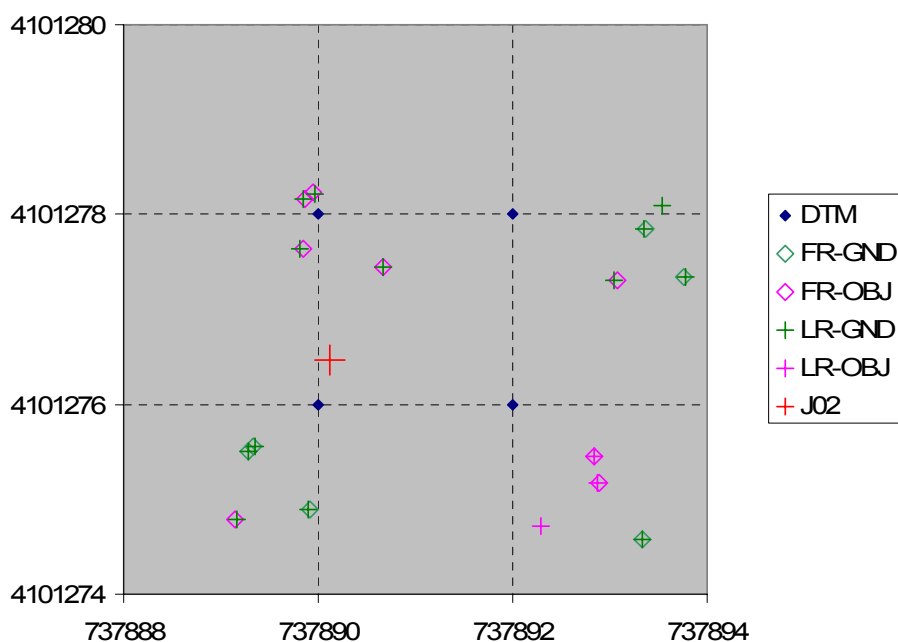


COMENTARIOS

RESULTADO -0.025m (Cota referencia-MD'T)

<b>Punto referencia</b>	<b>J02</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – vegetación baja.				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	737890.127m	4101276.471m	2.031m	-0.04m	1.991m

ESQUEMA



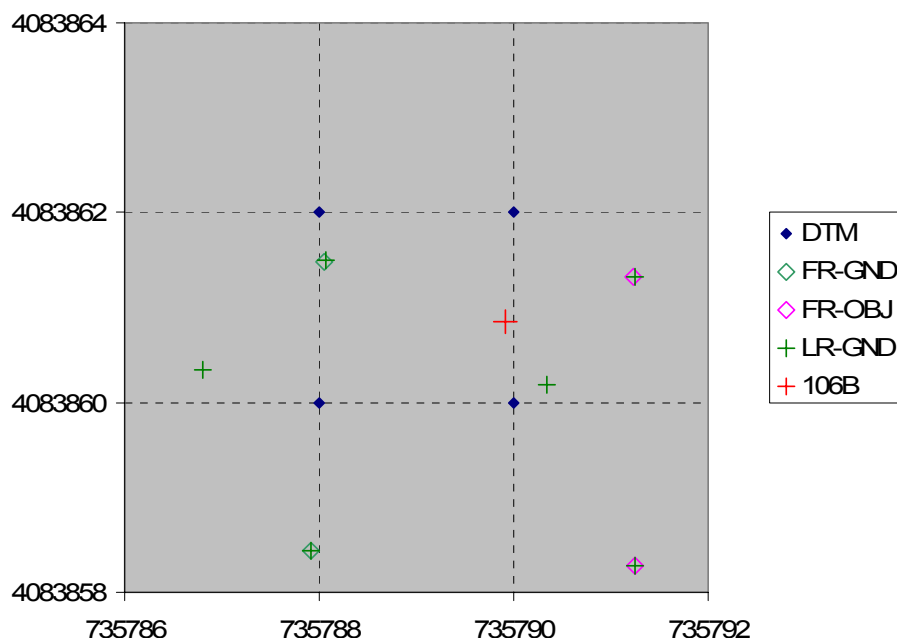
COMENTARIOS

RESULTADO -0.005m (Cota referencia-MD'T)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>JPS106B</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – vegetación baja				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	735789.906m	4083860.853m	2.813m	0.113m	2.700m

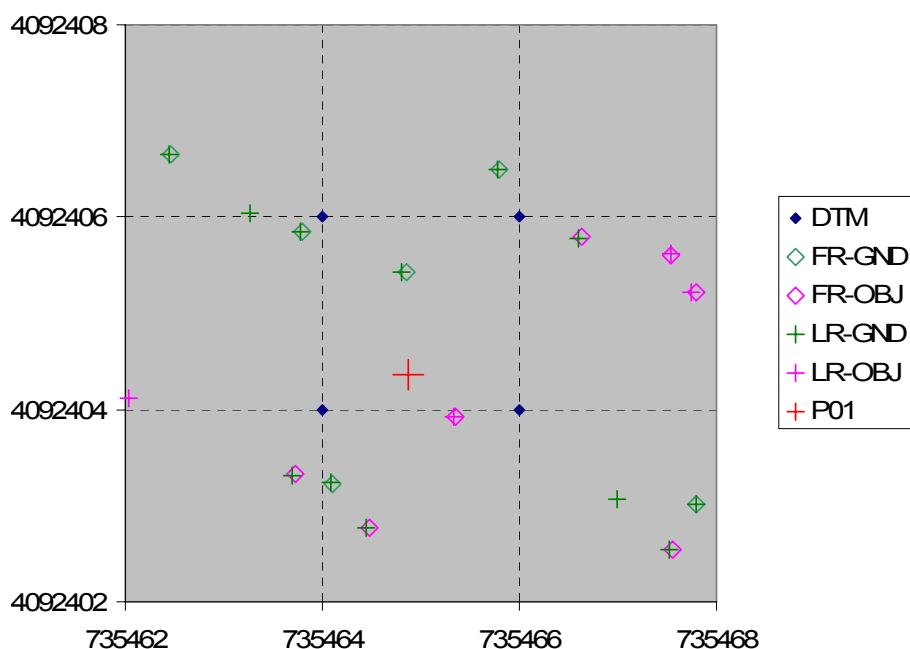
ESQUEMA



COMENTARIOS La corrección es la altura del clavo de cabeza esférica en que se encuentra la señal.  
RESULTADO 0.077m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>P01</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – terreno desnudo				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	735464.879m	4092404.358m	2.095m	0.885m	1.210m

ESQUEMA

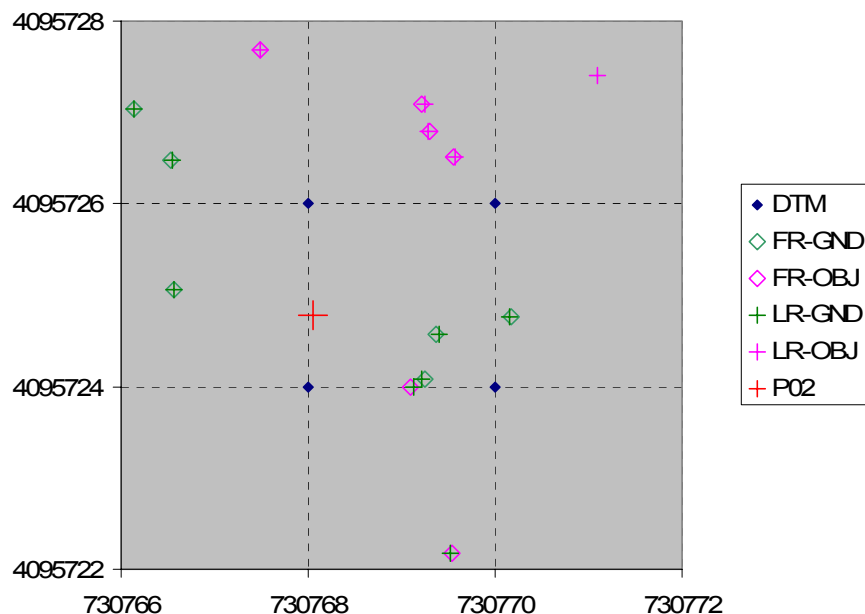


COMENTARIOS Se ha restituido la cota del clavo en la solera del pozo al terreno (ver reseña y figura 5.4 de la memoria).  
RESULTADO -0.117m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>P02</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – Terreno desnudo				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	730768.043m	4095724.774m	3.279m	-0.864m	2.415m

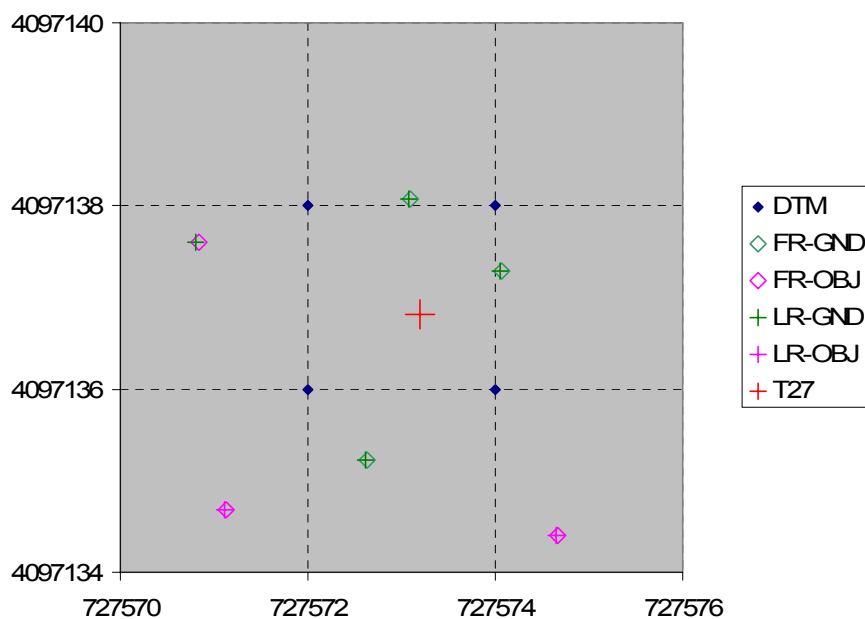
ESQUEMA



COMENTARIOS Se ha restituido la altura de la señal en la solera del depósito al terreno (ver reseña).  
 RESULTADO -0.008m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>T27</b>				
TIPO TERRENO	4 – Coto – Terreno desnudo.				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	727573.196m	4097136.821m	3.659m	-0.226m	3.433m

ESQUEMA

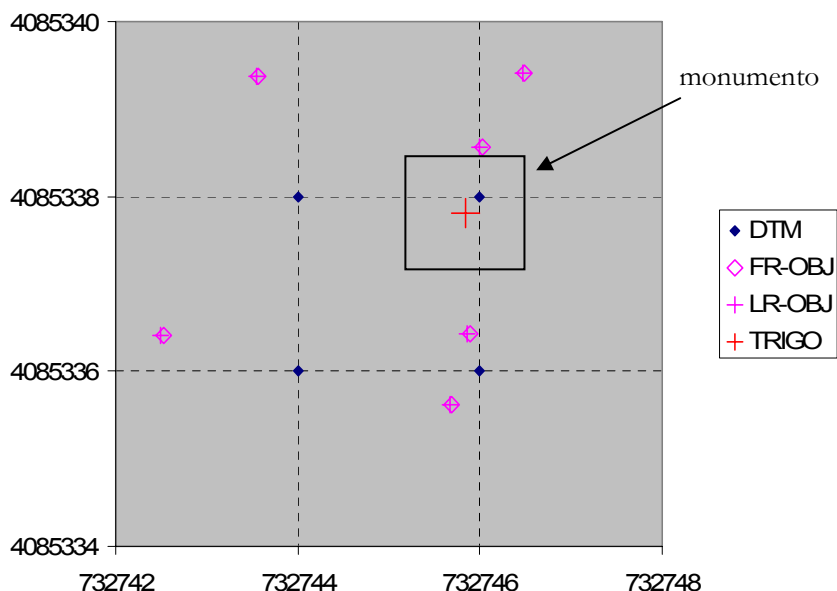


COMENTARIOS Se ha restituido la cota de la cara superior del muro de piedra en que se encuentra la marca al terreno (ver reseña).  
 RESULTADO -0.135m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>TRIGO</b>				
TIPO TERRENO	2 – Dunas – Vegetación porte alto – colina.				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	732745.843m	4085337.819m	21.310mBP	-1.870m	19.440m

ESQUEMA

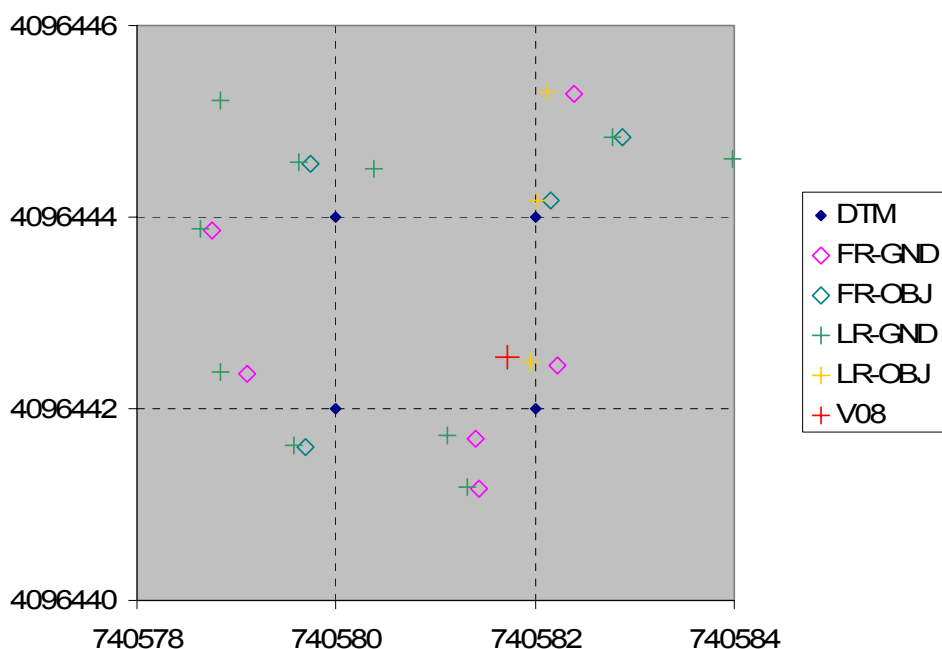


COMENTARIOS Con los puntos clasificados como objetos y descartando el que está más cerca del monumento se han recalculado los nodos con el método de la mínima curvatura. (BP= Base pilar; ver reseña)

RESULTADO 0.180m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>V08</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – terreno desnudo.				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	740581.715m	4096442.546m	1.553m	-0.341m	1.212m

ESQUEMA



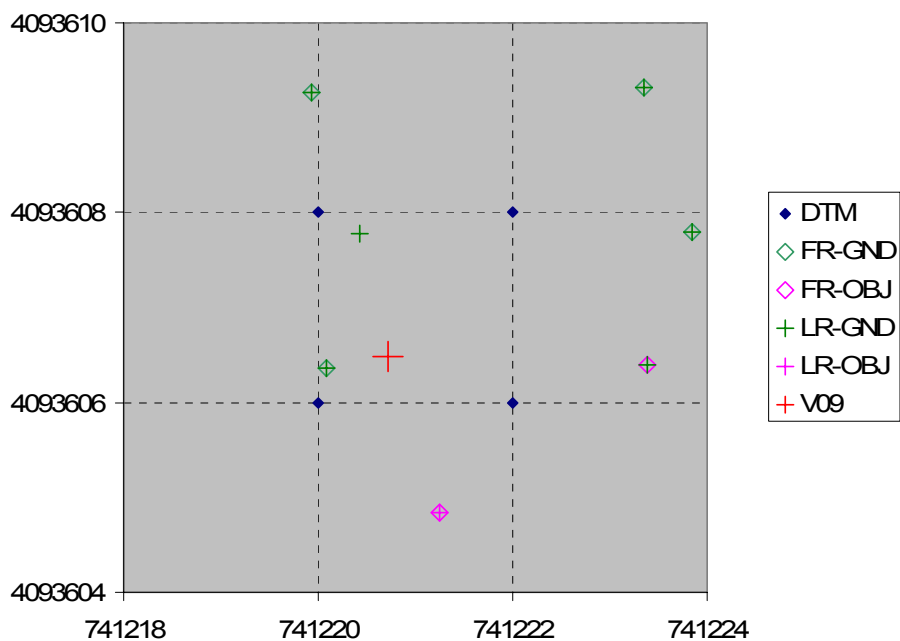
COMENTARIOS Se ha restituido la cota de la señal (sobre un murete) al terreno (ver reseña).

RESULTADO -0.034m (Cota referencia-MDT)

(continuación figura i.1)

<b>Punto referencia</b>	<b>V09</b>				
TIPO TERRENO	1- Marisma – terreno desnudo / cerca de edificio				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	741220.723m	4093606.482m	2.721m	-0.400m	2.321m

ESQUEMA

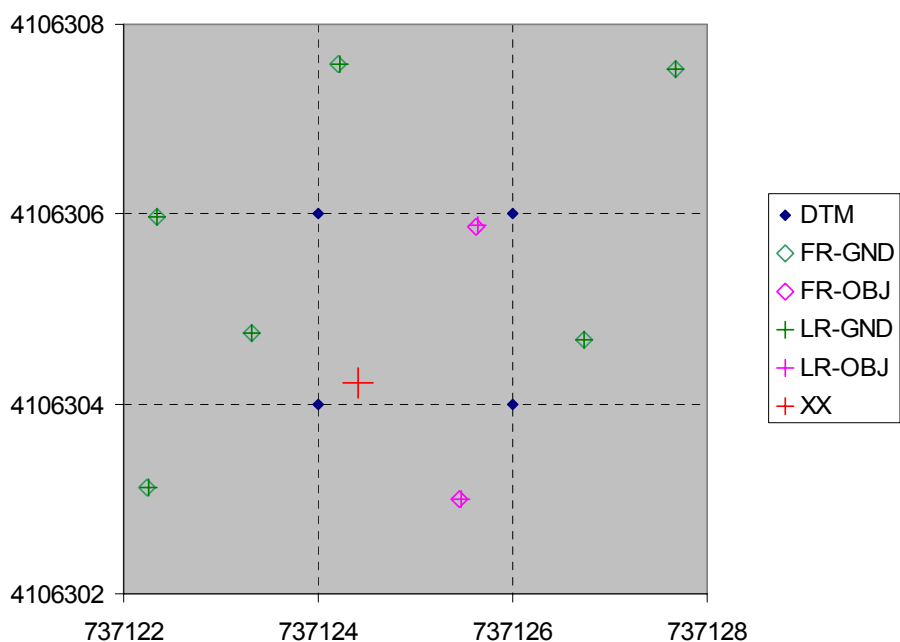


COMENTARIOS Se ha restituido la cota del muro perimetral de la Casa del Cherry al terreno (ver reseña).

RESULTADO 0.084m (Cota referencia-MDT)

<b>Punto referencia</b>	<b>XX</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma – en pendiente dique.				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	737124.417m	4106304.219m	3.960m	-1.591m	2.369m

ESQUEMA



COMENTARIOS Se ha restado la cota del pilar donde se encuentra la señal, restituyendo la cota del terreno (ver reseña).

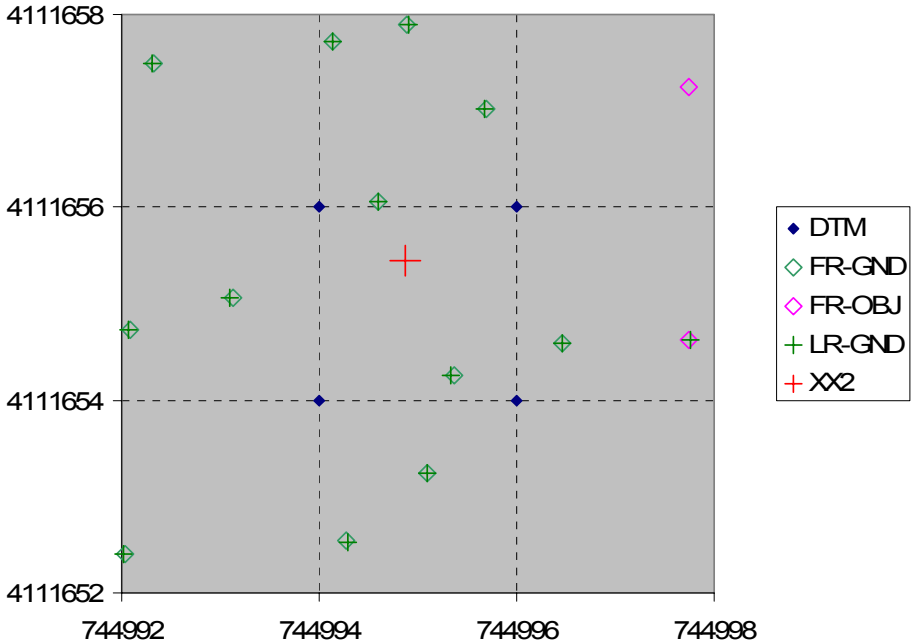
RESULTADO -0.105m (Cota referencia-MDT)



(continuación figura i.1)

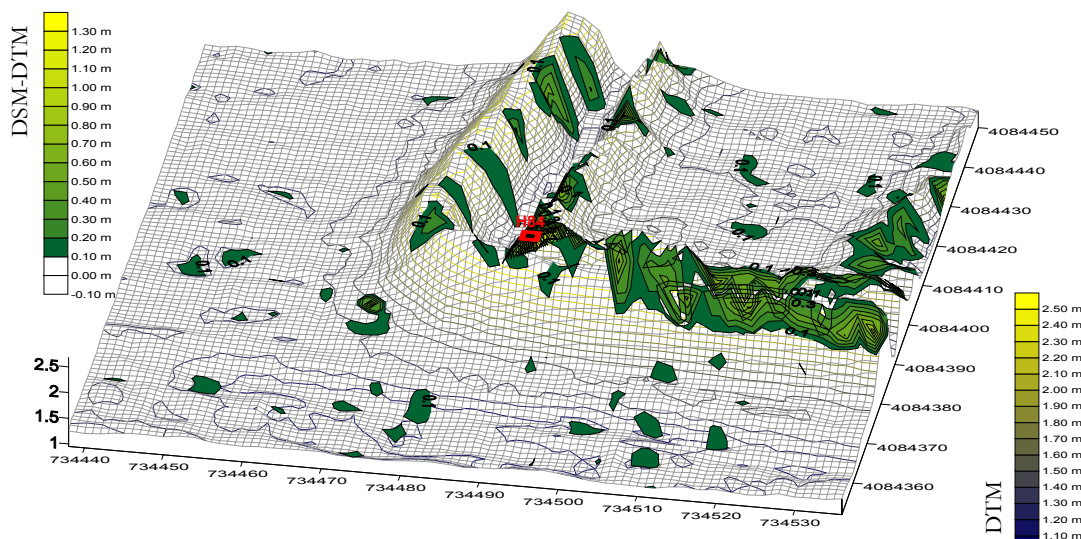
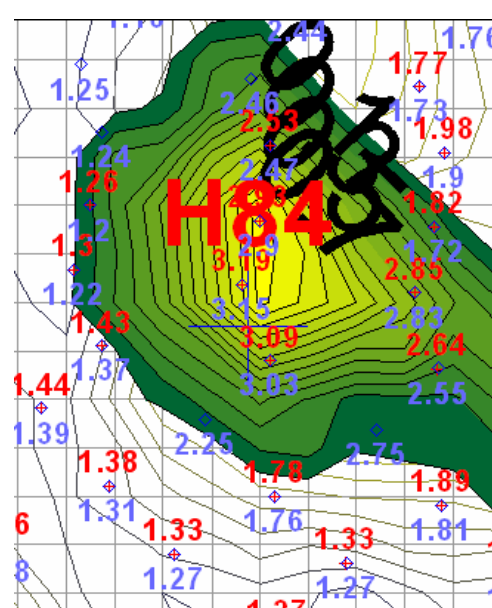
Punto referencia	XX2				
TIPO TERRENO	1- Marisma – pendiente dique.				
AREA SOLAPE	SI				
COORDENADAS	X UTMH29N(ED50)	Y UTMH29N(ED50)	Cota	Corrección	Cota referencia
	744994.868m	4111655.449m	3.026m	0.00m	3.026m

ESQUEMA



COMENTARIOS	
RESULTADO	-0.086m (Cota referencia-MDT)

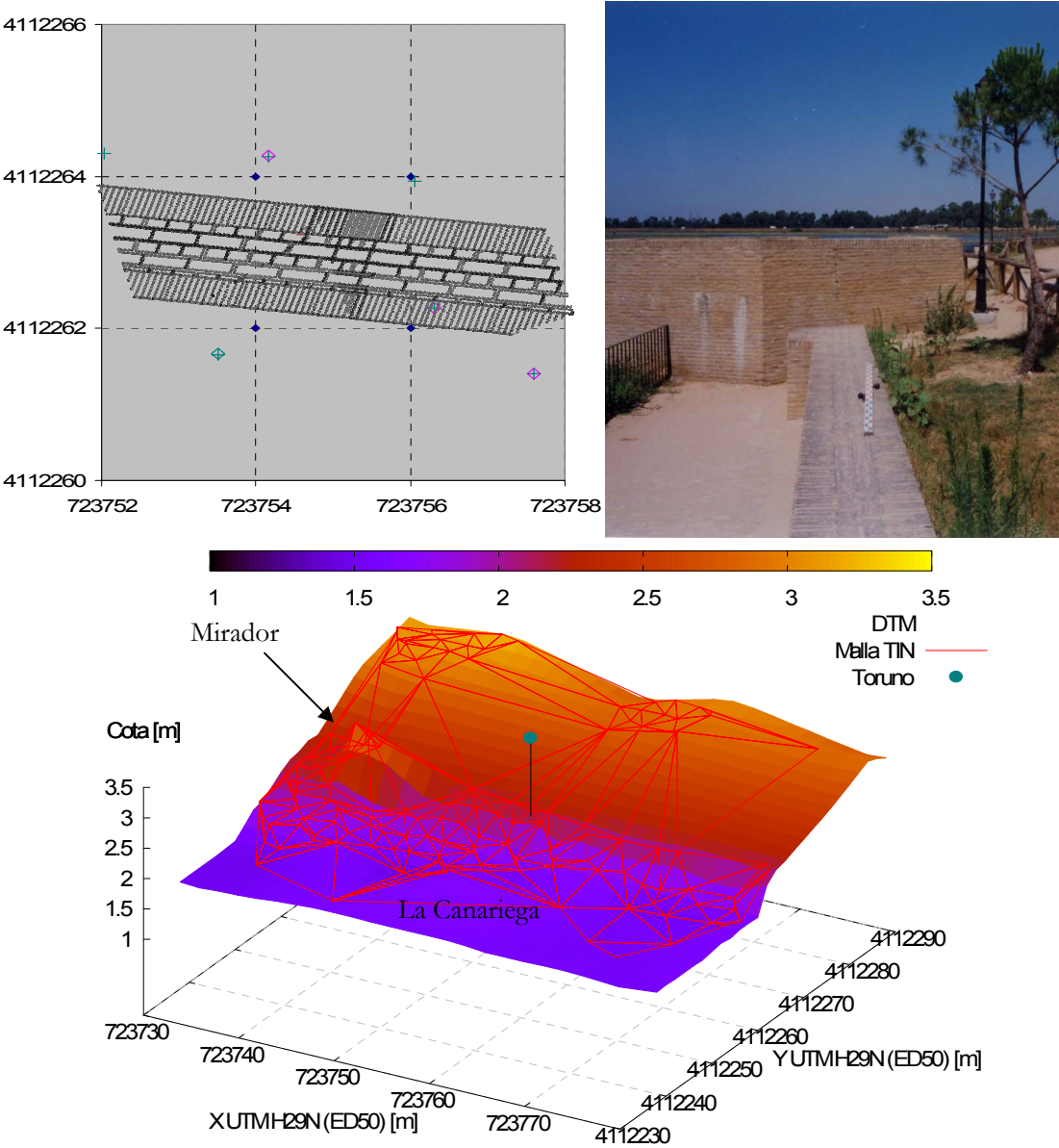
**Figura I.2.** Fichas resumen de los vértices del Proyecto MADRE que encontrándose dentro del área del levantamiento *ALS* se han descartado del análisis global para la obtención de los estadísticos de las diferencias con dicho modelo.

<b>Punto referencia</b>	<b>H84</b>				
<b>TIPO TERRENO</b>	1 – Marisma – Cresta Dique.				
<b>AREA SOLAPE</b>	NO				
<b>COORDENADAS</b>	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	734487.767m	4084401.509m	2.869m	-0.05m	2.819m
<b>ESQUEMA</b>					
<b>COMENTARIOS</b>	 <p>El punto se encuentra en la cresta de un muro estrecho. La diferencia con el modelo original es -0.971m. Seleccionando los tres puntos más cercanos e interpolando un modelo local la diferencia es 0.271. Se ha descartado por la gran pendiente local y por la falta de definición del dique debido a la densidad de puntos <i>LiDAR</i> escogida. Se observa que se han eliminado del modelo los puntos que suponen cambios bruscos del pendiente.</p>				
<b>RESULTADO</b>	0.971m / -0.271m (Cota referencia-MDT)				

(continuación figura i.2)

Punto referencia	TORUÑO				
TIPO TERRENO	3 – Marisma – Muro				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	X UTMH29N(ED50)	Y UTMH29N(ED50)	Cota	Corrección	Cota referencia
	723754.649m	4112263.240m	3.433m	?	3.433m

ESQUEMA

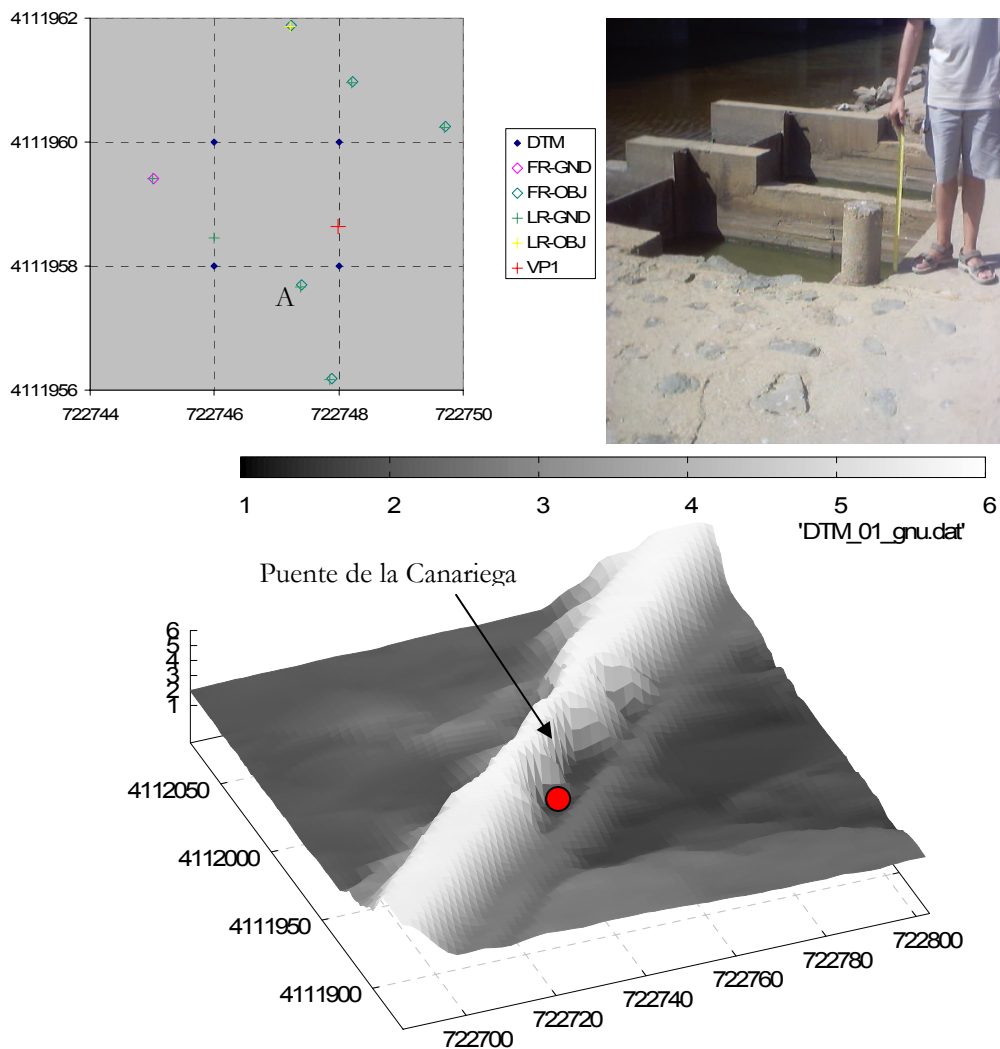


COMENTARIOS	No se ha podido estimar correctamente la altura del muro en que se encuentra la señal y que se ha esquematizado en la primera figura superior izquierda. En la segunda se presenta un área de 50x50m con la red de triángulos del modelo y el punto. Se marca un punto del mirador preservado y un área con puntos clasificados como objetos (ver reseña)				
RESULTADO	1.283m	(Cota referencia-MDT)			

(continuación figura i.2)

<b>Punto referencia</b>	<b>VP1</b>				
TIPO TERRENO	3- Marisma – Compuerta.				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTMH29N(ED50)</b>	<b>Y UTMH29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	722747.983m	4111958.645m	3.106m	-0.40m	2.706m

ESQUEMA

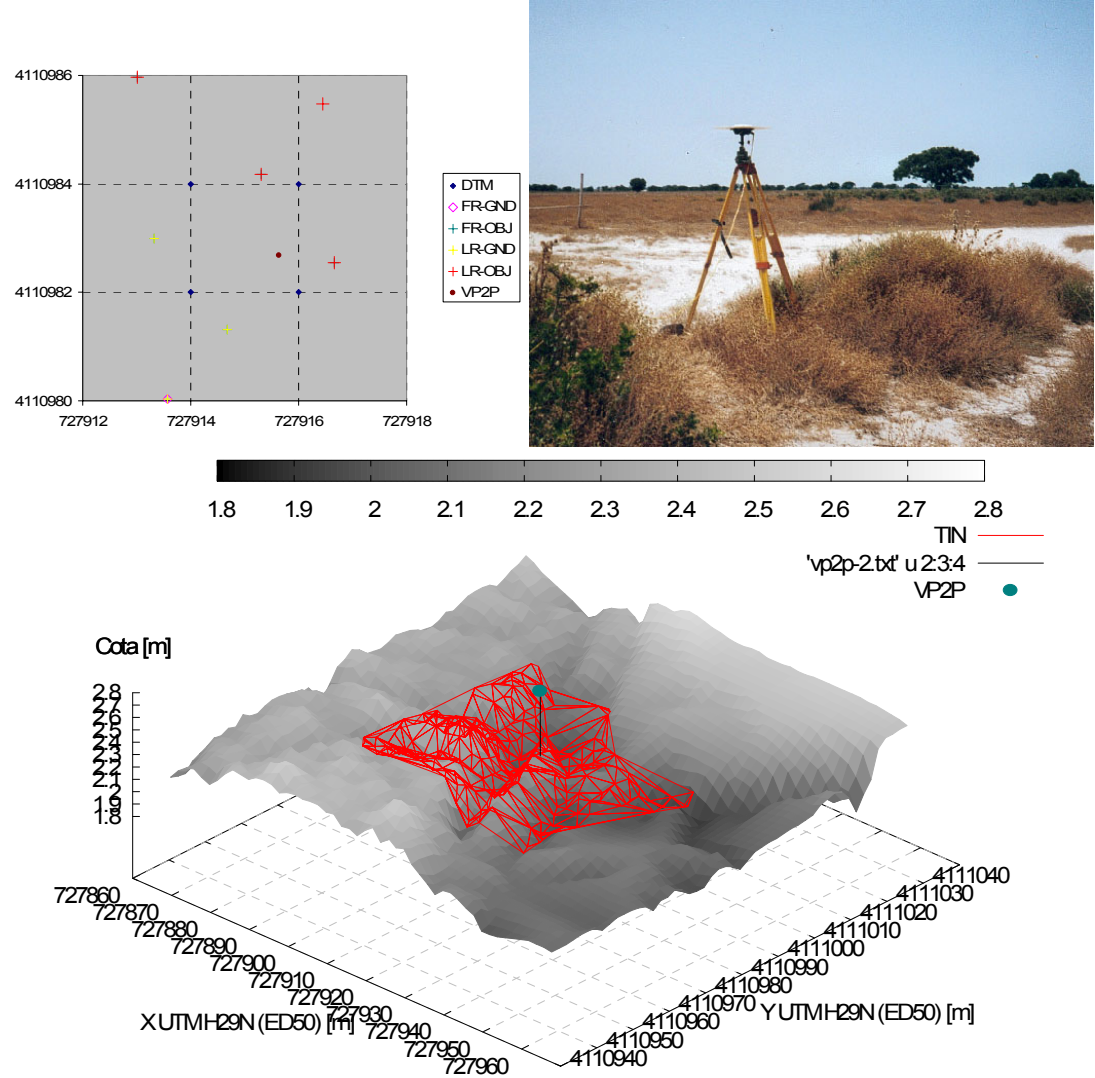


COMENTARIOS	La corrección introducida es la del pilar de la foto. El ancho del badén es demasiado estrecho para que el modelo tenga una buena resolución del elemento, y sólo hay un punto láser cerca del punto que se puede asegurar que es de la solera del badén (A). Por esa razón en el modelo no se ve bien definido y no se ha usado en el análisis.				
RESULTADO	0.272m	(Cota referencia-MDT)			

(continuación figura i.2)

Punto referencia	VP2				
TIPO TERRENO	3 – Marisma – Vera				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	X UTMH29N(ED50)	Y UTMH29N(ED50)	Cota	Corrección	Cota referencia
	727915.637m	4110982.683m	2.766m	?	2.766m

ESQUEMA



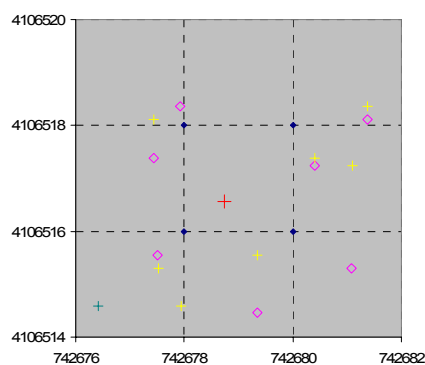
COMENTARIOS	No se ha estimado la altura del tocón sobre el que se encuentra la señal. Los puntos eliminados cerca del punto de comparación afectan además a la calidad local del MDT. Se ha recalculado el modelo con estos puntos y obtenido una nueva diferencia de 0.366m. Aún así dado que no se tiene con precisión la altura del tocón no se ha incluido en el análisis.	
RESULTADO	0.522m	(Cota referencia-MDT)



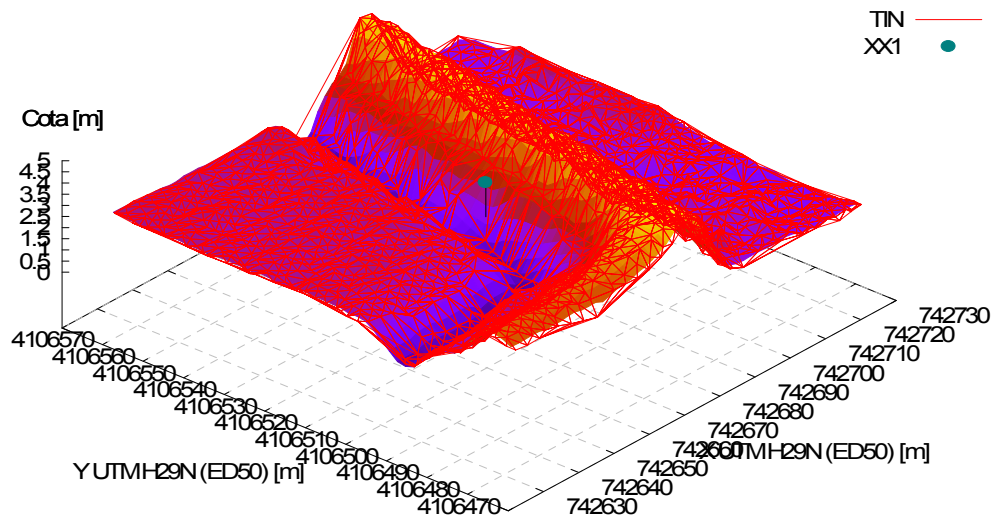
(continuación figura i.2)

<b>Punto referencia</b>	<b>XX1</b>				
TIPO TERRENO	1 – Marisma - pendiente				
AREA SOLAPE	NO				
COORDENADAS	<b>X UTM H29N(ED50)</b>	<b>Y UTM H29N(ED50)</b>	<b>Cota</b>	<b>Corrección</b>	<b>Cota referencia</b>
	742678.732m	4106516.567m	2.930m	?	2.930m

ESQUEMA



DTM  
TIN  
XX1



COMENTARIOS	Área con gran pendiente entre un dique y un canal. Tampoco se ha podido restituir adecuadamente la cota de la señal al terreno (ver reseña) y por ésta razón se ha descartado del análisis general.				
RESULTADO	1.522m	(Cota referencia-MDT)			

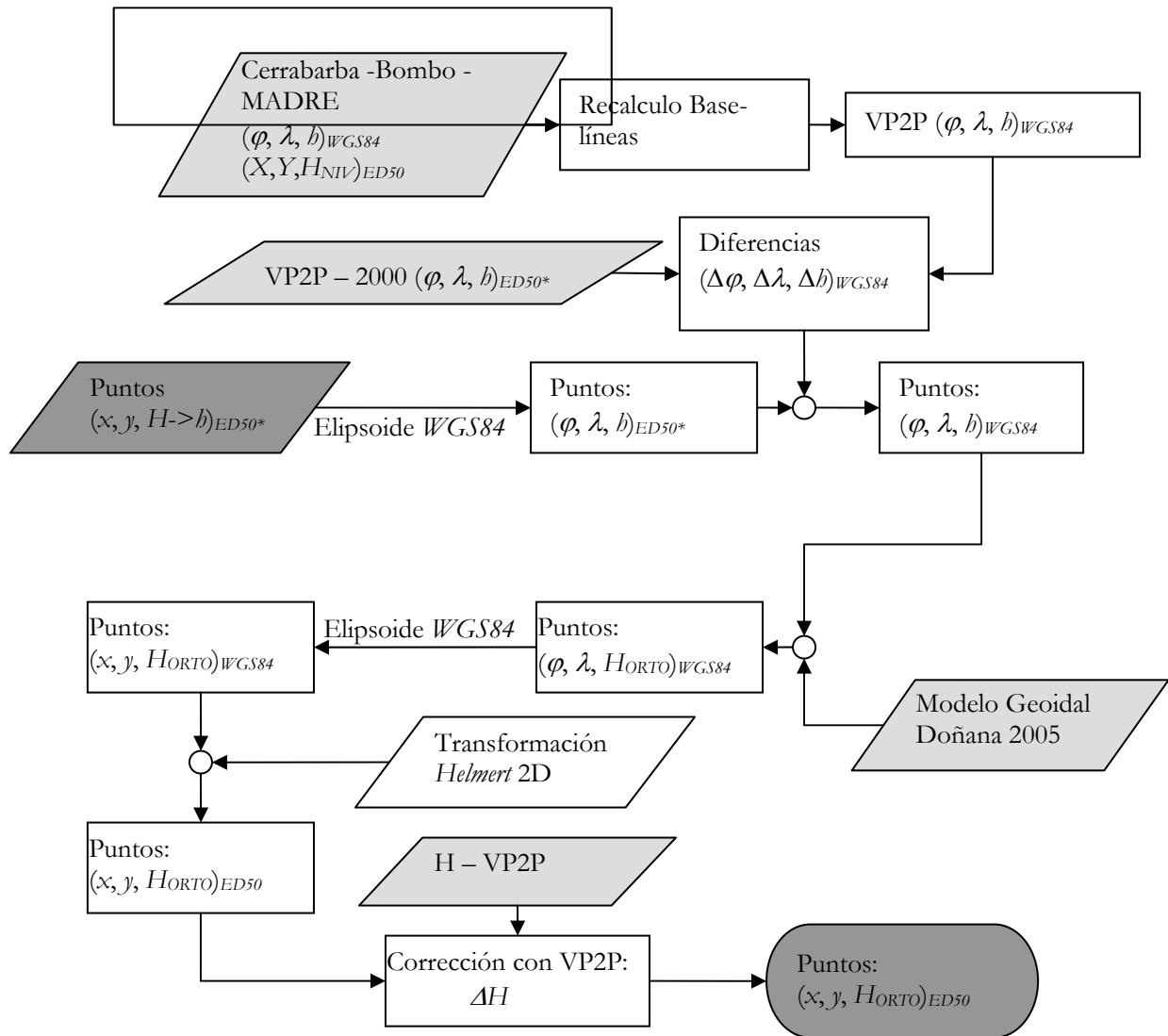
### A.I.1.2. Áreas y perfiles

En este epígrafe se detalla cómo se ha recalculado la información de referencia del Proyecto MADRE al datum del *ALS* y cómo se ha realizado la comparación para cada una de las tres áreas con puntos usados para la validación cuantitativa del capítulo 5.

#### A.I.1.2.1. Área piloto A; Matagordas

El área contiene 20564 puntos levantados en julio del año 2000 con *GPS-RTK*. Su datum original era *ED50\** (con el elipsoide *WGS84*) ya que su único objetivo era poder comparar esta información con el levantamiento realizado del mismo modo en el año 1998 tal y como se describe en Ibáñez [2003] y [2007]. La información de julio de 1998 no se ha incluido en la validación del capítulo 5 por estar demasiado alejada en el tiempo del levantamiento *ALS*.

El elipsoide original de estos datos era *WGS84*, aunque se les había aplicado a los datos un conjunto de transformaciones para que pudieran ser comparados con los datos de 1998. No se les había aplicado ninguna corrección geoidal. Así las operaciones necesarias para deshacer estas transformaciones y obtener los datos en el mismo datum de los datos *ALS* se describen en la figura i.4.



**Figura I.4.** Diagrama de flujo de los procesos para la georeferenciación de la información de referencia al datum planimétrico *ED50* y al altimétrico *JPS106* enlazado con el NMMA

Los procesos aplicados al conjunto de puntos han sido (definidos detalladamente en la figura): desplazamiento en bloque para situar el punto base de la radiación *GPS-RTK* (Cerrabarba) en las coordenadas más actuales que se encuentran en Núñez [2006], a las coordenadas planimétricas se les ha aplicado una transformación plana tipo *Helmert* (UPC [2002]) ajustada para el área obteniendo las coordenadas *X,Y UTM* para el datum *ED50*. A la altura elipsoidal se le ha aplicado el geoide *Donana 2005*, obteniendo las coordenadas ortométricas (el geoide se ha definido en Núñez [2006]). Para todos los procesos se ha usado el programa de transformaciones de coordenadas desarrollado para este trabajo *mcal*, disponible en los anejos III y IV.

Estos datos de referencia se encuentran en las hojas 724x4109, 724x4110, 724x4112, 726x4109, 726x4110, 726x4112, 728x4109, 728x4110, 728x4112 del modelo digital del terreno *ALS* (X e Y en Km y punto base de cada hoja el inferior izquierdo).

De los 20564 puntos del levantamiento (excluidos los que tienen coordenadas planimétricas repetidas), 3035 están fuera de los límites del MDT *LiDAR*. Así 17529 puntos son los útiles para la comparación, como se ha explicado en el epígrafe 5.2.2 del cuerpo de la memoria.

Para la obtención de las diferencias se ha interpolado la cota de cada punto de referencia dentro del MDT. Se ha usado nuevamente una interpolación bilineal para su cálculo con el programa de cambio de coordenadas ya mencionado (*mcal*).

#### A.I.1.2.2. Área piloto B; lagunas

Dentro de esta área coinciden tres fuentes de datos del Proyecto MADRE. Los de julio de 1998 están realizados con una estación total sobre un itinerario encuadrado entre el Charco del Toro (T1) y el Palacio de Doñana (T27) pasando por las lagunas de Dulce y Sta. Olalla (VP3). Este levantamiento consta de 272 puntos. El procedimiento seguido ha sido recalcular el itinerario variando las coordenadas de los vértices de la red *GPS* (T1, T2, VP3, VP4, T26 y T27). Dentro del levantamiento *ALS* se encuentran 15 puntos. Se ha excluido en punto B1-CAM quedando un total de 14 puntos por su mala situación.

Los datos de julio del año 2000 han sido realizados con una radiación *GPS-RTK*. El levantamiento consta de 1403 puntos. De ellos ninguno se encuentra dentro del área del levantamiento *ALS*.

Los datos de julio del 2002 fueron realizados con una radiación *GPS-RTK* desde el punto VP3. Consta de un total de 512 puntos de los cuales 67 se encuentran dentro del levantamiento *ALS*. Los datos originalmente tenían el datum *WGS84*. Se ha aplicado un desplazamiento 3D para situar el punto base de la radiación (VP3) en las coordenadas definidas en Núñez [2006]. Se ha aplicado en mismo proceso que el epígrafe anterior para obtener el cambio de datum y la corrección geoidal.

Para la comparación se ha realizado también el mismo proceso de interpolación bilineal ya descrito en el apartado anterior. Los resultados se han presentado en el epígrafe 5.2.2.

#### A.I.1.2.3. Área piloto C; transecto 3 (T3)

Dentro de esta área se han realizado levantamientos en julio de los años 2002, 2003 y 2004. Se han usado únicamente los del año 2002 ya que son más densos y son contemporáneos con el levantamiento *ALS*. Los datos se agrupan en tres perfiles de dirección SO-NE. Sólo el tercero tiene datos dentro del levantamiento *LiDAR*. Este perfil consta de 793 puntos radiados desde el vértice GONZ con el método *GPS-RTK*. De ellos 72 se encuentran dentro del levantamiento *ALS*.

El proceso de recálculo de los datos ha sido el mismo aplicado en los dos epígrafes anteriores. En primer lugar, desplazamiento en bloque de los datos en *WGS84* con el punto base de la radiación. Después, aplicación del modelo geoidal. Por último la transformación 2D tipo *Helmert* ya referenciada para la obtención de las coordenadas *UTM* con en datum *ED50*.



En proceso de comparación ha sido la misma interpolación bilineal descrita en los dos epígrafes anteriores.

## A.I.2. INFORMACIÓN DE LA RED ETSIM

Esta red se encuentra descrita en los trabajos de Mintegui y Robredo [2001]. Son un conjunto de puntos de nivelación posicionados con un *GPS* de código (baja calidad planimétrica; de 1 a 5m) y con cota de nivelación geométrica distribuidos esencialmente por la Marisma. Los responsables de estos trabajos pertenecen a la Escuela Técnica Superior de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid. Por esta razón la red se ha denominado en este documento ETSIM. La información se agrupa en hitos Feno (H), escalas (E), vértices (V), compuertas (C), y pozos (P).

Para los hitos Feno materializados en el Parque se ha estimado su altura en 5cm (para este análisis) desde la base del dado hasta la cabeza del clavo interior (esquema en la figura 5.4).

En las “E” la cota es la del cero de las escalas de medir el nivel de agua en que se encuentran. Éste está en la unión de la escala y la cara superior del bloque de hormigón que le sirve de cimentación. Este punto de unión en general está enrasado con el terreno pero la sedimentación natural de las áreas en que se encuentran (se sitúan en áreas deprimidas en la Marisma) añade un error en la restitución de la cota al terreno que no se ha medido.

Las “C” se encuentran en la solera de compuertas en los diques que cierran el perímetro del Parque Nacional (ver anejo II). Las compuertas son objetos insertados en los diques que cierran el Parque y que en la mayoría de los casos tienen una cota mayor que la solera del dique. En el modelo estos elementos críticos no se han tratado de forma totalmente correcta (epígrafe II.2). La restitución al terreno de los vértices sobre las compuertas es compleja y se ha comprobado que introduce errores elevados.

Los vértices (“V”) y pozos (“P”) son clavos de nivelación materializados en pequeños muros y estructuras (pozos, depósitos,...). La razón para descartarlos es que se debe conocer la forma del objeto en que se encuentran el clavo para restituir la cota al terreno, información de la que no se dispone (ver figura 5.4).

En este anejo se presentan los resultados del conjunto de puntos considerados aptos para el análisis (H y E). El procedimiento de cálculo ha sido el mismo expuesto en el epígrafe A.I.1.2. Los resultados de las escalas se presentan en la tabla i.1, y los de los hitos en la tabla i.2.

**Tabla I.1.** Resultados del análisis para los 28 puntos de escalas (E) de la red ETSIM dentro del Parque Nacional de Doñana.

<b>Punto</b>	<b>X UTM 29N (ED50)[m]</b>	<b>Y UTM 29N (ED 50) [m]</b>	<b>Dif. Cota H-MDT [m]</b>
E03	727648	4109654	0.043
E04	728277	4106291	0.031
E05	731151	4106426	0.085
E07	729330	4102747	-0.043
E08	729372	4097300	-0.131
E09	731268	4094359	-0.093
E10	733581	4091218	-0.184
E11	732950	4104487	-0.026
E12	734539	4100453	-0.144
E13	735241	4095763	-0.215
E14	729955	4098082	-0.032
E15	733530	4095535	-0.126
E16	733879	4092280	-0.159
E17	736332	4106253	-0.014
E18	736446	4101404	-0.024
E20	741417	4100607	-0.042
E21	739356	4100614	0.092
E22	738386	4096087	-0.117
E23	736502	4094921	0.002
E24	737665	4093863	-0.079
E25	737365	4092143	-0.038
E26	741515	4092309	-0.054
E27	738229	4091402	0.035
E28	736247	4089975	0.007
E29	740241	4090558	-0.006
E30	732280	4090084	-0.042
E31	733197	4089569	-0.281
E32	733492	4085219	-0.200

**Tabla I.2.** Resultados del análisis para los 96 puntos de hitos (H) de la red ETSIM dentro del Parque Nacional de Doñana.

Punto	X UTM 29N (ED50) [m]	Y UTM 29N (ED 50) [m]	Dif. Cota H-MDT [m]
H04	727301	4109292	0.091
H05	727648	4109653	0.085
H06	727997	4110011	0.079
H07	727794	4106418	0.110
H08	728279	4106292	0.118
H09	728762	4106163	0.038
H10	732283	4104306	0.043
H11	732764	4104436	-0.024
H12	733246	4104567	-0.055
H13	733731	4104697	0.188
H14	735763	4105313	0.004
H15	735891	4105796	0.012
H16	736019	4106280	-0.301
H17	736425	4101584	-0.063
H18	736682	4101154	-0.028
H19	736940	4100722	0.020
H20	737196	4100292	0.006
H21	737451	4099862	-0.024
H22	737554	4099690	0.026
H23	734113	4100192	-0.068
H24	734540	4100454	-0.075
H25	734965	4100714	-0.132
H26	736982	4099076	-0.025
H27	737111	4098752	-0.021
H28	737229	4098456	0.038
H29	739357	4100614	0.107
H30	728902	4097134	-0.095
H31	729373	4097300	-0.125
H32	729848	4097470	-0.121
H33	738217	4097115	-0.005
H34	738584	4096958	-0.079
H35	738953	4096801	0.075
H36	735885	4092640	-0.031
H37	736385	4092591	-0.108
H38	736884	4092561	-0.049
H39	737381	4092490	-0.104
H40	737868	4092413	-0.016
H41	738172	4091517	-0.129
H42	735549	4090024	-0.068
H43	736017	4090203	-0.067
H44	736484	4090379	-0.068
H45	736950	4090553	0.026
H46	737419	4090731	-0.060
H47	737892	4090892	-0.012
H48	738363	4091055	0.043
H49	738840	4091217	0.019
H50	739308	4091394	-0.032
H51	739779	4091569	-0.023
H52	740278	4091607	-0.022
H53	740777	4091643	-0.037
H54	741279	4091673	-0.013
H55	741777	4091696	0.041
H56	738733	4090467	0.107
H57	738927	4090002	0.074
H58	739395	4090179	0.025

(continuación tabla i.2)

H59	739867	4090344	0.013
H60	740339	4090512	0.041
H61	740832	4090606	0.004
H62	741325	4090703	-0.045
H63	741823	4090771	0.025
H64	742205	4090825	-0.056
H65	739119	4089542	0.087
H66	738659	4089123	0.038
H67	739308	4089079	0.102
H68	739502	4088618	0.048
H69	733910	4089295	-0.115
H70	732996	4087633	-0.061
H71	733126	4088117	-0.094
H72	733270	4088598	-0.074
H73	733878	4088934	0.021
H74	733838	4088436	-0.073
H75	733795	4087936	-0.063
H76	734582	4086723	0.056
H77	734376	4086335	-0.030
H78	734144	4085895	-0.066
H79	733911	4085455	-0.052
H80	733608	4084880	-0.158
H81	732957	4085231	-0.159
H82	733166	4085117	-0.160
H83	734047	4084642	-0.100
H84	734486	4084406	1.279
H85	733847	4084440	-0.124
H86	734088	4083999	-1.186
H87	734327	4083561	-0.057
H88	734567	4083121	-0.084
H89	734807	4082683	-0.124
H90	735046	4082241	-0.057
H91	735167	4082022	0.050
H92	733131	4091137	-0.008
H93	733583	4091179	-0.003
H94	734026	4091234	-0.157
H95	734520	4091294	-0.061
H96	733399	4089075	-0.118
H97	741978	4091271	-0.044
H98	732802	4099417	0.197
H99	731400	4101435	-0.006



## ANEJO II:

### AMPLIACIONES Y REPARACIONES DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO

En el anejo se incluyen todas las modificaciones del modelo para corregir las anomalías detectadas en el cuerpo de la memoria. Éstas se agrupan en áreas no levantadas, compuertas y pasarelas, diques, correcciones en cauces y lagunas, y artefactos. Se ha añadido una categoría denominada áreas. En ésta se incluyen las zonas que se han recalculado por completo (arrozales y parte de las dunas) y que no incluyen el resto de categorías ya mencionadas. En la memoria se han detectado otras anomalías en el MDT pero por su efecto local no se ha estimado necesaria su corrección (falsos puntos bajos y altos, vegetación...). En la tabla ii.1. se presentan los valores más destacables de estas correcciones: si son críticas o no (son críticas si afectan al régimen hidráulico), cuantos puntos se han tratado por cada concepto, si los nodos se han añadido o si modifican a nodos ya existentes y cual es el grado de afectación sobre el modelo.

**Tabla II.1.** Resumen de resultados de correcciones realizadas al modelo *LiDAR* en el Parque Nacional de Doñana.

Concepto	Crítico (S/N)	Puntos	Añadidos/Modificados	Porcentaje de nodos tratados
Áreas no levantadas	S	1054897	A	0.76%
Compuertas/Pasarelas	S	4128	M	0.002%
Diques	S	1895092	M	1.37%
Áreas	N	43781162	M	31.58%
Cauces, canales y lagunas	S/N	2152037	A/M	1.55%
Artefactos	N	137620	A/M	0.09%
Vegetación	N	2182	M	0.001%

#### A.II.1. ÁREAS NO LEVANTADAS

Estas áreas están dentro del perímetro de contrato y no se habían incluido en el MDT. En la figura 5.21 del capítulo 5 se muestra que se han identificado un total de diez áreas no levantadas.

Como se explicó en el epígrafe 5.3.1.1 de dicho capítulo se procedió a inundar el modelo hasta la cota de rebase detectada en cada área como se muestra en la figura 5.56 del mismo capítulo. En la figura ii.1 se presenta la inundación a 2.20m sin conectividad hidráulica en el Parque Nacional (ensayo de inundación equicota del capítulo 3). Se muestran en rojo las tres áreas que no contienen datos y que se inundan a esta cota (A1, A2 y A3). En amarillo las áreas no levantadas pero que no se ha detectado que se inundan a esta cota.

Para la generación de estas ampliaciones se ha recurrido a información de menor calidad. Ésta es:

- Ortofotografía realizada por GEA CARTOGRAFÍA y FOTONOR. A.S. (GEA [2002]). Ésta se realizó en la misma época que el levantamiento *ALS* y por tanto el estado de inundación de la Marisma es el mismo, así como el estado de la vegetación. Esto es importante ya que en la Marisma el

tipo de vegetación está en relación directa con la cota a la que se encuentra (como ya se ha expresado en el cuerpo de la memoria).

- Serie cartográfica Mulhacén 1:10.000 editado por la Junta de Andalucía. Esta información es más antigua y contiene sólo algunas curvas de nivel e información topológica.
- Levantamiento *GPS-RTK* en el área de Matasgoradas (ampliación A.3). Son datos de buena calidad aunque se encuentran en perfiles de orientación Norte-Sur separados 50m. Esta separación hace que el modelo resultante sea de peor calidad que el generado con los datos *ALS*.

En la ampliación A.1 se disponía de la ortofotografía (figura ii.2). El proceso realizado ha sido identificar las cotas en el MDT asociadas a cada elemento de la ortofotografía (canal en Marisma, cada tipo de vegetación, frentes de duna,..) en el área con solape (de la ortofotografía y el MDT) y asignar de forma manual elevaciones a cada uno de estos elementos identificados en la ortofotografía para el área donde se genera el modelo. La precisión de esta metodología es mayor de lo esperado en la Marisma donde elevando 20cm la cota de un punto cambia la vegetación que soporta. En el ambiente dunar el resultado es no es preciso.

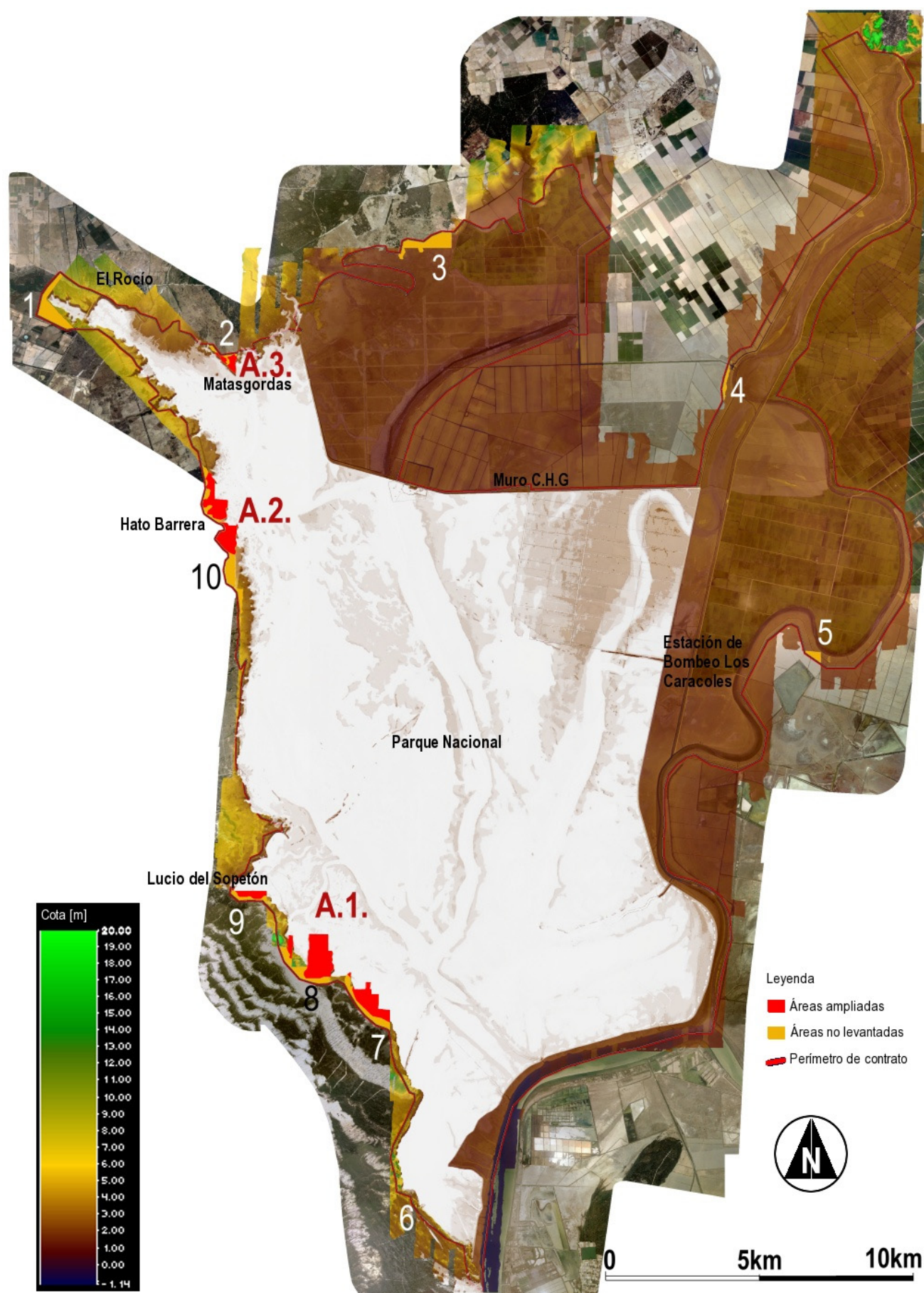
En la ampliación A.2 se disponía de la ortofotografía (figura ii.3). Ésta solo cubre una parte de la ampliación. Así se recurrió al Mulhacén que como ya se ha indicado es una información de menor calidad (Junta\_de\_Andalucía [1975]). Esta información son mapas de contornos en imágenes georeferenciadas en blanco y negro. Su datum es el mismo que el del levantamiento *ALS* (*ED50*), y las coordenadas están en la proyección *UTM* en el huso 30. Para cambiarlas al huso 29 (el del levantamiento) se han reproyectado los *pixels* negros de la imagen (los que contienen la información) y se ha generado una imagen con las nuevas coordenadas.

Así en las áreas con ortofotografía se ha seguido el procedimiento ya descrito. En las otras áreas se han seguido las curvas de nivel de la cartografía (aunque son pocas).

En la ampliación A.3 se disponía de los datos *GPS-RTK* del Proyecto MADRE (del año 2000 y 1998), de la ortofotografía y de la serie cartográfica Mulhacén (figura ii.4). Se han usado los datos *GPS-RTK* para generar la mayor parte del modelo (A-figura ii.4). Para la otra parte del modelo (B-figura ii.4) se ha usado la ortofotografía y el perímetro de la laguna presente en la zona levantada en julio de 1998. Se ha comprobado la poca concordancia en la zona con el Mulhacén, ya que es una zona más variable que el resto de la Marisma.

Para comprobar el efecto de estas ampliaciones se ha realizado el cálculo de volumen y superficie almacenados en la marisma del Parque Nacional para distintas cotas de inundación (con y sin las ampliaciones del modelo A.1, A.2 y A.3). El análisis se ha realizado sin conectividad hidráulica, estando así un nodo inundado si se encuentra por debajo de la cota de inundación (ensayo de inundación equicota descrito en el capítulo 3). Los resultados se presentan en la figura ii.5. Se observa que el efecto de las ampliaciones sólo es apreciable a altas cotas de inundación ( $H \geq 1.50\text{m}$  en la superficie y  $H \geq 1.70\text{m}$  en el volumen) y que el efecto es mínimo aunque perceptible debido a la gran extensión de la marisma en el Parque Nacional ( $3\text{km}^2$  en la superficie inundada y  $2\text{Hm}^3$  en el volumen almacenado adicionales con las ampliaciones).

Con respecto a las curvas de almacenamiento de la figura cabe comentar que el comportamiento a bajas cotas se aleja totalmente del real, mientras que para cotas de inundación elevadas sí que se asemeja al comportamiento real. Esto se debe a que para altas cotas casi toda la Marisma está inundada y tiene una única lámina libre que se asemeja a un plano (no considerando los efectos del viento, ni de las mareas). Las imágenes de cada estado de inundación de incluyen en el anejo IV.



**Figura II.1.** Doñana: MDT original sobre la ortofotografía. Se incluye el perímetro de contrato y las áreas no levantadas dentro de este. (1-10). En blanco la lámina de agua de una inundación a 2.20m. En rojo las áreas A.1, A.2 y A.3 no levantadas y que se inundan parcialmente según el análisis.



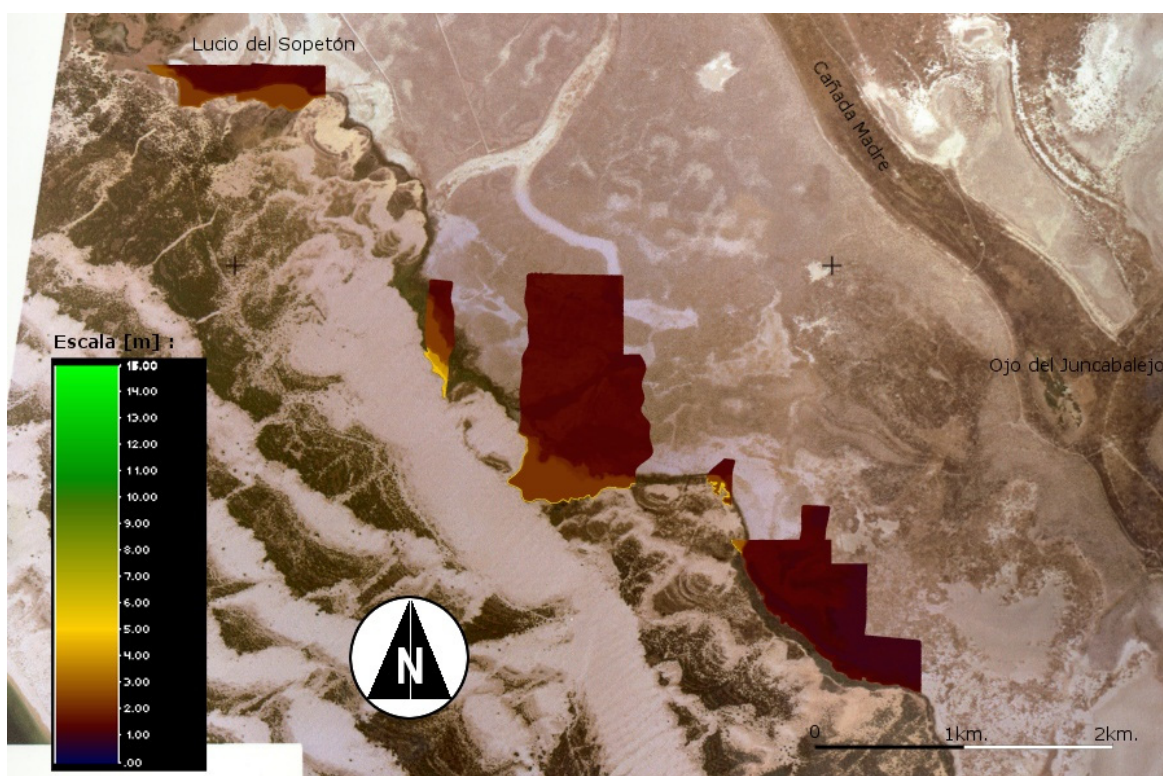


Figura II.2. Ampliación A.1 del MDT. Se presenta sobre la ortografía del área.

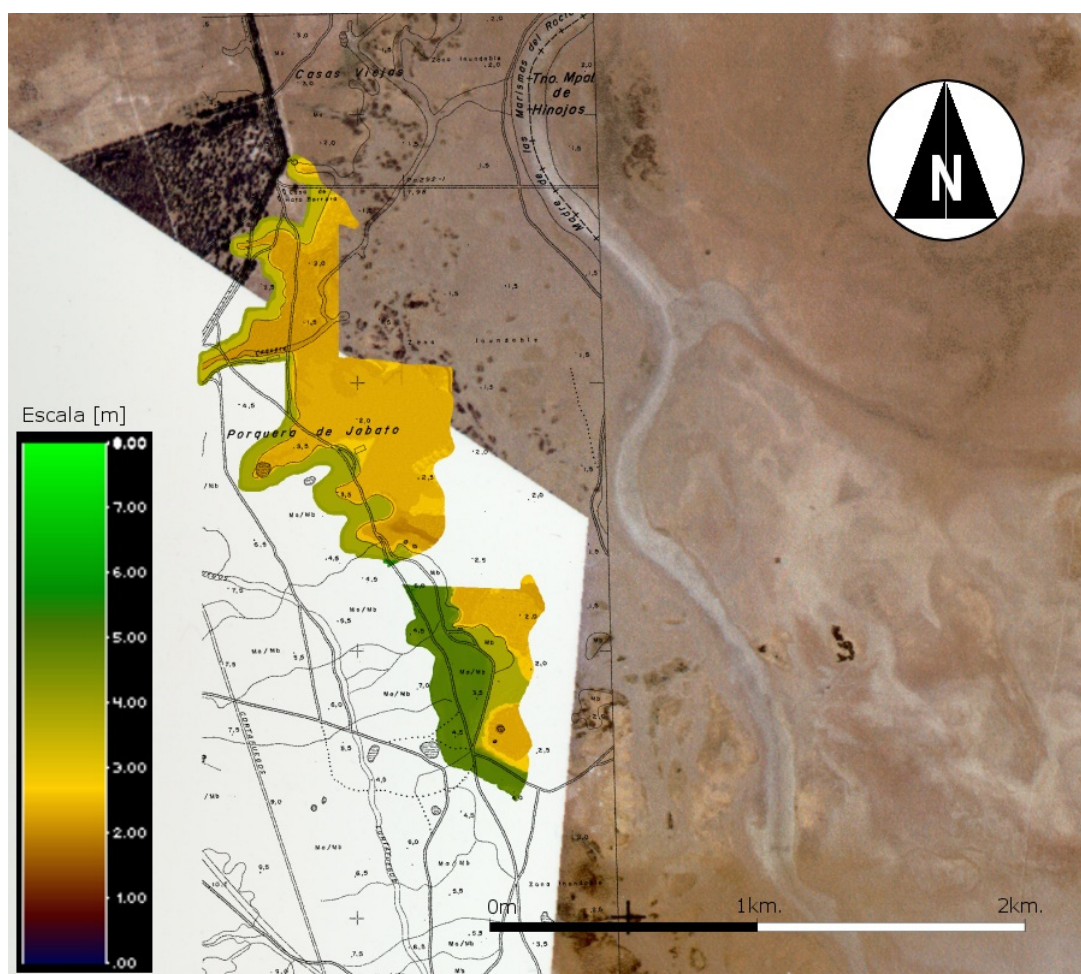
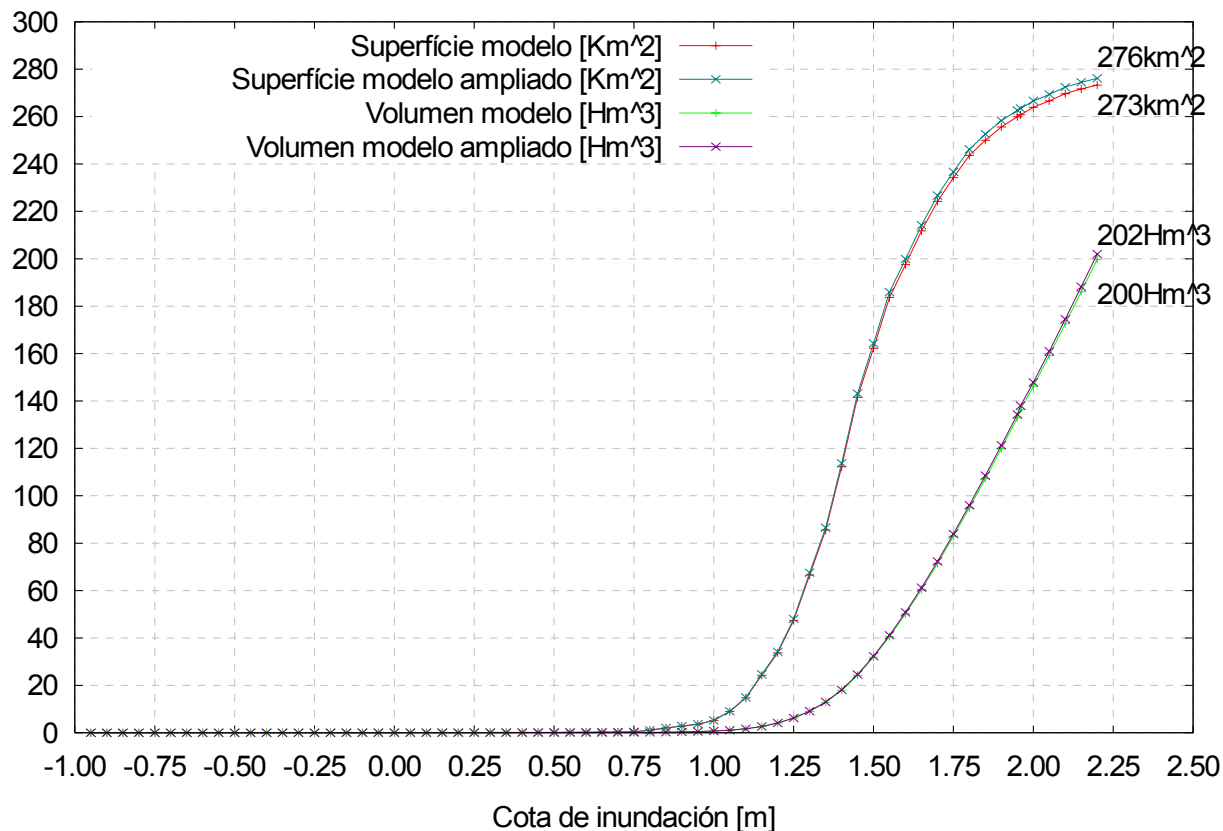


Figura II.3. Ampliación A.2 del MDT. Se ha superpuesto la ortografía realizada por GEA & FOTONOR y un fragmento de la serie cartográfica Mulhacén (Junta\_de\_Andalucía [1975]).



**Figura II.4.** Ampliación A.3 del MDT. Se ha superpuesto la información de la serie cartográfica Mulhacén (Junta de Andalucía [1975]) y la información de los perfiles GPS-RTK del Proyecto MADRE (A y B; explicación en el texto)



**Figura II.5.** Superficie y volumen inundado en el Parque Nacional para una cota determinada. Se incluyen las curvas con el MDT sin las ampliaciones y con las tres ampliaciones descritas en este epígrafe (A.1, A.2 y A.3).

## A.II.2. COMPUERTAS/ PASARELAS

Estos elementos permiten controlar los niveles y flujos de agua en las áreas encerradas por el sistema de diques de la Marisma. Como ya se ha indicado en el capítulo 5 (epígrafes 5.3.1.4 y 5.3.2.b) su definición es vital para los husos del modelo.

El tratamiento de estos elementos se esquematizó en la figura 5.40 del capítulo 5 (en este anejo figura ii.7). Así se ha distinguido entre pasarela y compuerta, y en este segundo caso sí se ha introducido la cota correcta en el modelo.

Se han detectado un total de 18 elementos que controlan los flujos de salida/entrada de agua en el Parque Nacional de Doñana. Para su tratamiento se ha usado la información de campo, la nube de puntos *ALS* sin clasificar y la ortofotografía de 0.5x0.5m realizada del área por GEA.

El tratamiento de cada elemento se resume en la tabla ii.2. En ella para cada elemento se identifica su tipo, su tratamiento correcto / incorrecto y las correcciones realizadas en cada caso. Dentro de los incorrectos hay dos grados. El de mayor incorrección se da cuando se ha eliminado o incluido el elemento cuando el tratamiento correcto era el contrario. El segundo es menos grave, y consiste en que la cota del objeto no es la correcta (puede alterar los cálculos de superficies inundadas y volúmenes almacenados).

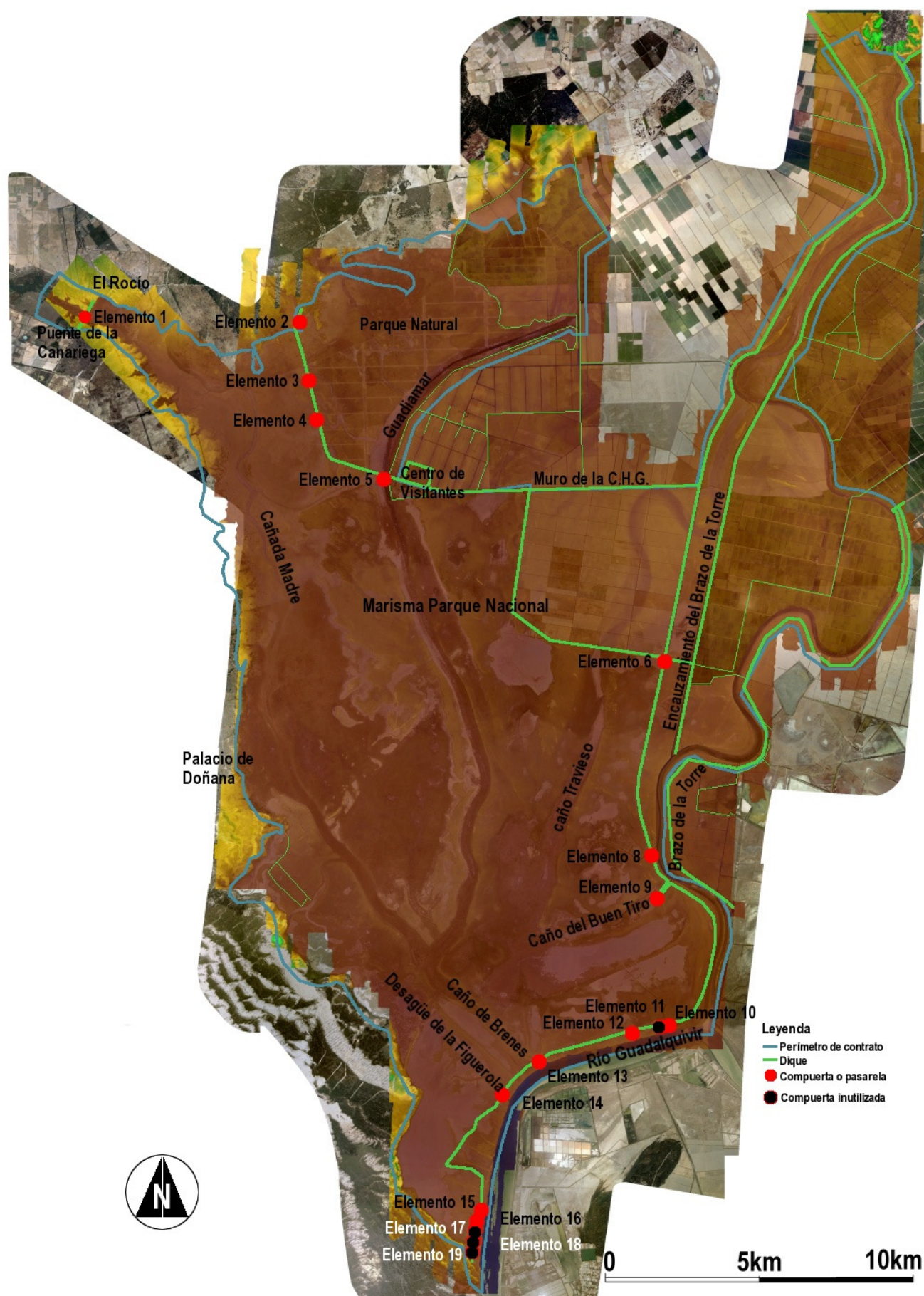
La determinación de la cota máxima de rebase en las compuertas se ha estimado partiendo de los puntos de nivelación sobre las soleras de las pasarelas y estimando la altura sobre la parte superior de la compuerta con la observación de la nube de puntos *LiDAR*, la experiencia en el campo donde se observaron algunas de ellas de forma directa y documentación fotográfica aportada también en la tabla ii.2.

Se han detectado también cambios en estos elementos entre el momento del levantamiento (2002) y el momento de cálculo final de este anejo (2006). En los casos de disponer de documentación gráfica de estos cambios se han incorporado en las correcciones. Para distinguir la calidad de la solución en cada elemento se ha incluido una valoración de cero a diez en la última fila de cada elemento analizado.

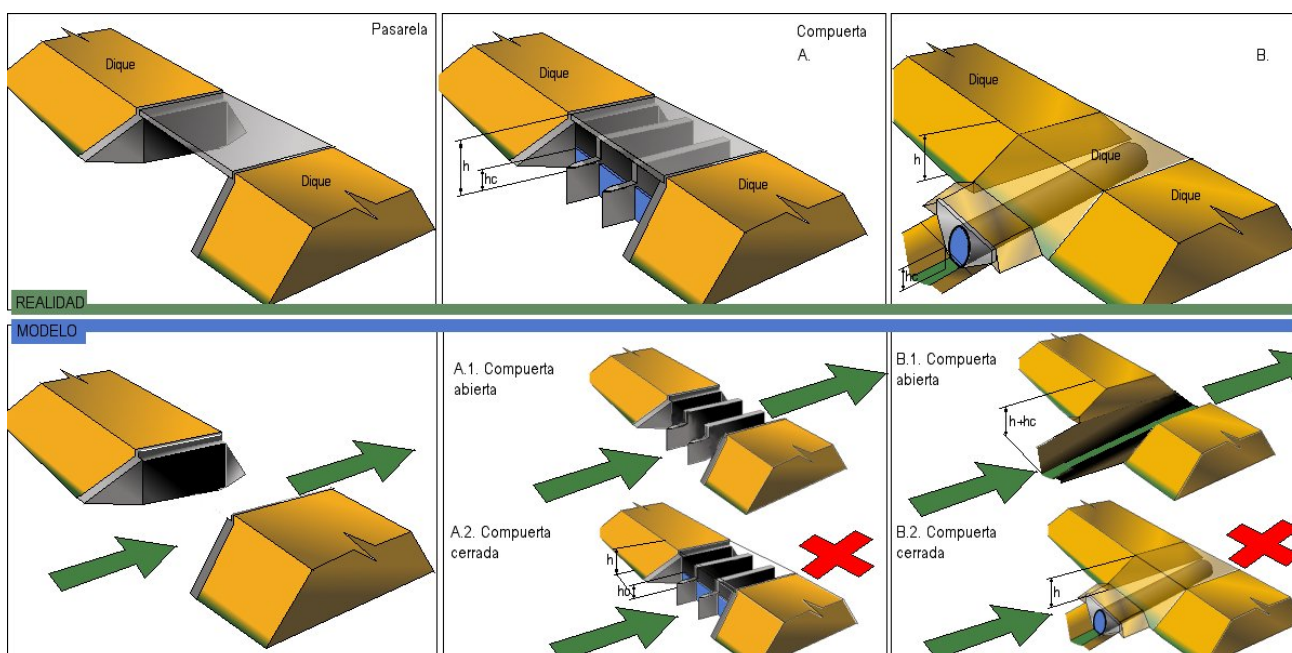
El total de nodos modificados por este concepto del modelo es de 1101, pero su importancia es crítica para los análisis hidráulicos a aplicar sobre el Modelo Digital del Terreno (son 4128 en todo el levantamiento).

Además de los elementos que cierran el perímetro también se han detectado más elementos fuera de los límites del Parque Nacional y algunos dentro. Los primeros no se incluyen en este epígrafe pero en su mayoría sólo se han detectado y no se han tratado por falta de información. Los segundos son sólo dos y se incluye su localización en la tabla ii.3. Todos los que se incluyen en esta tabla no se han incluido en el modelo, permitiendo los flujos de agua a través del elemento.





**Figura II.6.** Doñana: elementos (compuertas / pasarelas) que cierran las áreas del levantamiento. Se han incluido las que controlan el Parque Nacional de Doñana. Cartografía base: Ortofotografía y MDT *LiDAR*.



**Figura II.7.** Esquema de los tres tipos de objetos adosados presentes en el área del levantamiento. A la izquierda una pasarela con una losa en coronación para el tránsito rodado. En el centro una compuerta bajo una losa para el tránsito rodado. A la derecha una compuerta con válvula de cierre (se clasifica como un objeto complejo). En la parte inferior el tratamiento que deben tener estos elementos en el MDT. En el caso de las compuertas qué elevaciones deben preservarse en función de si cierran el flujo a través del dique o lo cierran (A.1/A.2 – B.1/B.2).



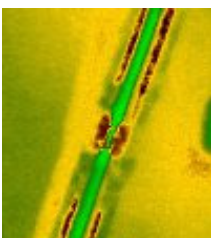
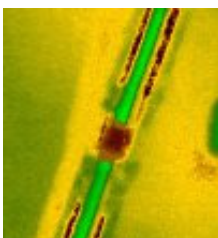



Tabla II.2. Relación de los elementos encontrados en el perímetro del Parque Nacional en el levantamiento.

(✗ = incorrecto. ✓ = correcto).

Elemento 1	Tipo de elemento:	Compuerta (B)	
	Tratamiento:		
	Descripción elemento/ tratamiento:	Contiene dos elementos. 01. Puente de la Canariega (no ha sido eliminado). 02. Badén con dos compuertas (debe preservarse). Cota impuesta 2.7m.	
	Imagen original:	Imagen Corregida:	
	Coordenadas:	X=722750; Y=4111974m (UTM 29N – ED50)	
07/2002			
09/2006			
Ficheros	E01-01 - Elimina el puente de la Canariega. 368 puntos. E01-02 Introduce el badén con las compuertas cerradas. 196 puntos.		

(continuación tabla ii.2)

Elemento				
2	Tipo de elemento:	Pasarela		
	Tratamiento:			
	Descripción elemento/ tratamiento:	El elemento consiste en una pasarela para tráfico rodado. En 2006 se ha detectado que está compuesta por un conjunto de tubos que permiten el paso libre de las aguas. No da sido eliminada del modelo. Se ha reclasificado la nube de puntos.		
	Imagen original:	Imagen Corregida:		
				
	Coordenadas:	X=729695;Y=4111980m	(UTM 29N – ED50)	
09/2006				
Fichero	E02-01 Elimina la pasarela.		155 puntos.	

(10)



(continuación tabla ii.2)


<b>Elemento</b>	
3	
<b>Tipo de elemento:</b>	Pasarela
<b>Tratamiento:</b>	
<b>Descripción elemento/ tratamiento:</b>	El elemento consiste en una pasarela para tráfico rodado formada por una losa de hormigón. En 2006 se ha detectado que debajo la losa ahora hay un sistema de tubos de 1m de diámetro que permiten el paso libre de las aguas. No da sido eliminada del modelo. Se ha reclasificado la nube de puntos.

Imagen original:

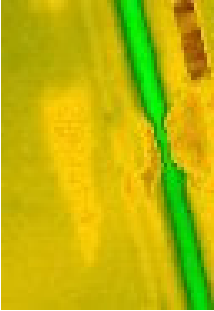
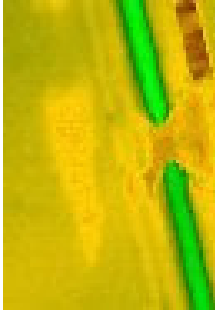


Imagen Corregida:



**Coordenadas:**

X=729966;Y=4109916m



(UTM 29N – ED50)

09-2006



Fichero **E03-01** Elimina la pasarela

74 puntos.



(continuación tabla ii.2)


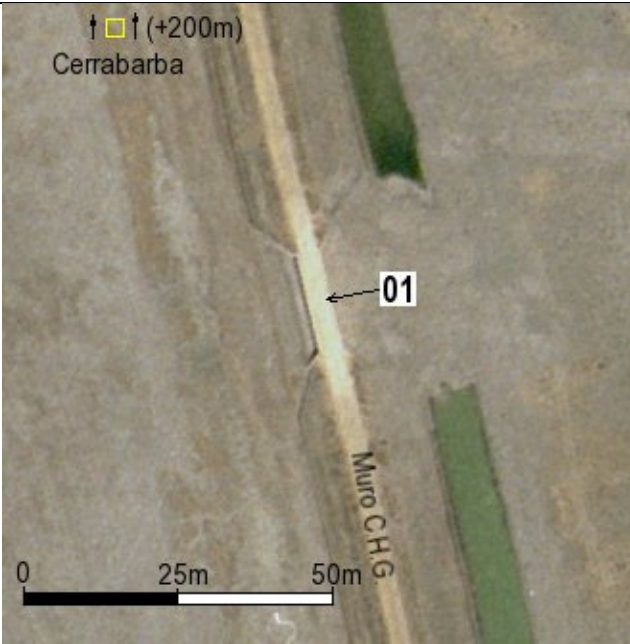
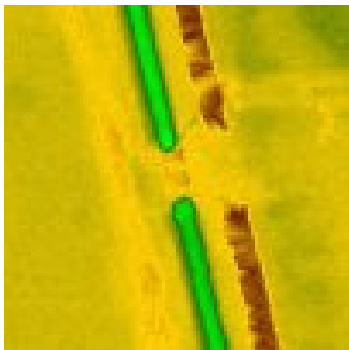
<b>Elemento</b>	
4	
<b>Tipo de elemento:</b>	Pasarela
<b>Tratamiento:</b>	
<b>Descripción elemento/ tratamiento:</b>	El elemento consiste en una pasarela para tráfico rodado formada por una losa de hormigón. Ha sido eliminada del modelo. En 2006 se ha detectado que debajo la losa se encuentra una estructura de tubos de 1m de diámetro aproximado que permiten el paso de las agua.

Imagen original:


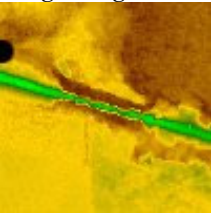
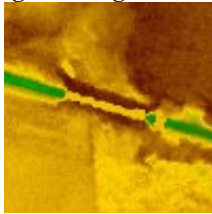



Coordenadas: X=730249;Y=4108724m (UTM 29N – ED50)

09-2006




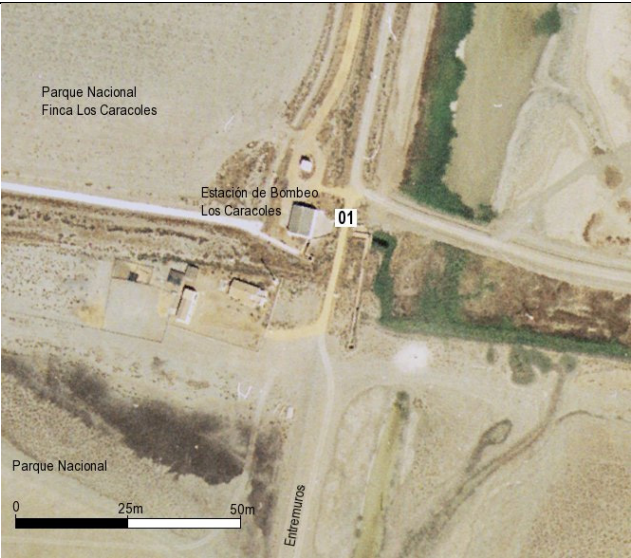
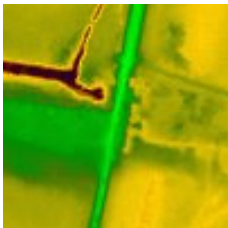
(continuación tabla ii.2)

<b>Elemento</b>		
5	<b>Tipo de elemento:</b> <b>Tratamiento:</b> <b>Descripción elemento/ tratamiento:</b>	Compuerta (A)  Contiene dos elementos: 01. Paso inferior con tubos de aproximadamente 1m de diámetro. 02. Pasarela para el tráfico rodado con una losa y un pilar intermedio. El elemento 01 se ha situado todo a 1.463m que es la cota inferior estimada para los tubos. El elemento 02 se ha restituido a un plano con la solera del paso inferior estimada en 1.260m
	<b>Imagen original:</b> 	<b>Imagen Corregida:</b> 
	<b>Coordenadas:</b>	X=732420;4106786m (UTM 29N – ED50)
09-2006	 	
Ficheros	<b>E05-01</b> Contiene la cota 1.463m de los tubos <b>E05-02</b> Solera del paso inferior a 1.260m	<b>204</b> puntos. <b>33</b> puntos.



(continuación tabla ii.2)

<b>Elemento</b>	
6	<b>Tipo de elemento:</b> Compuerta (B)
	<b>Tratamiento:</b> 
<b>Descripción elemento/ tratamiento:</b>	Estación de bombeo que comunica la Finca de los Caracoles (P.Nacional) con el encauzamiento del Brazo de la Torre.
<b>Imagen original:</b>	<b>Imagen compuerta abierta:</b>



**Coordenadas:** X=741529;Y=4100865m

(UTM 29N – ED50)



(continuación tabla ii.2)

**Elemento**

8

**Tipo de elemento:**

Compuerta (B)

**Tratamiento:****Descripción elemento/ tratamiento:**

Compuerta en base dique que comunica con otra área por debajo el muro. La compuerta es de obra de fábrica.

**Imagen original:****Imagen compuerta abierta:****Coordenadas:**

X=741096;Y=4094587m

(UTM 29N – ED50)

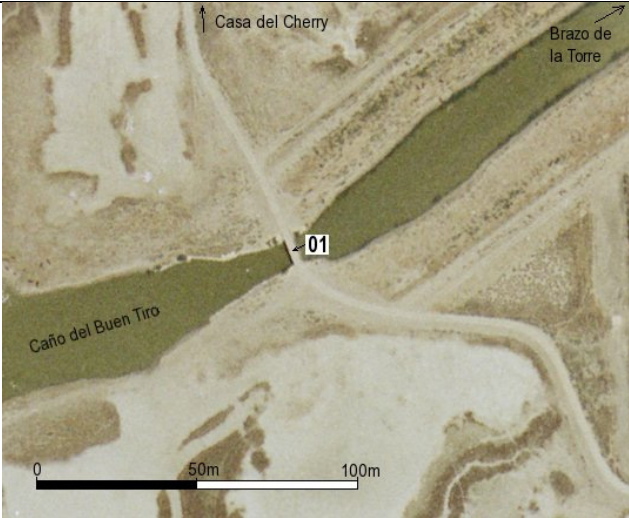

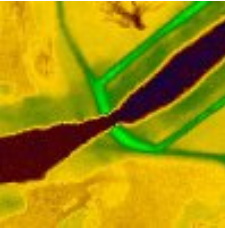
09-2006

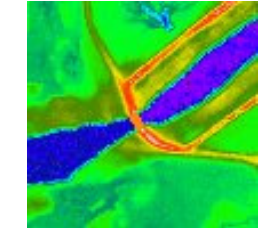


(10)



(continuación tabla ii.2)

Elemento 9	<b>Tipo de elemento:</b>	Compuerta (A)	
	<b>Tratamiento:</b>		
	<b>Descripción elemento/ tratamiento:</b>	Compuerta tipo (A) debajo pasarela. Se ha asignado una cota máxima de rebase de 3.0m. Se había eliminado del modelo. Se ha restituido la compuerta a dicha cota de rebase.	
	<b>Imagen original:</b>		



**Coordenadas:** X=741310;Y=4093148m (UTM 29N – ED50)


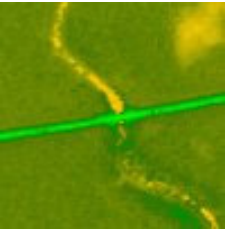
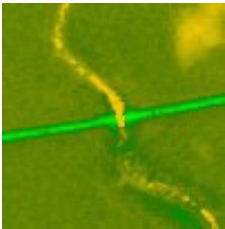
09-2006

Elemento 09




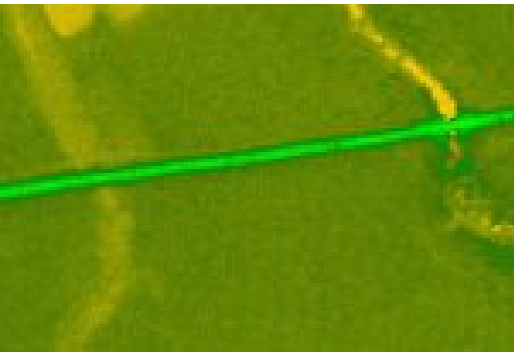
Ficheros **E09-01** Restituye la compuerta a 3.0m 33 puntos.

(continuación tabla ii.2)

Elemento		
10	Tipo de elemento:	Compuerta (B)
	Tratamiento:	
	Descripción elemento/ tratamiento:	Compuerta en base dique que comunica con otra área por debajo el muro. La compuerta es de obra de fábrica.
	Imagen original:	Imagen compuerta abierta:
		
	Coordenadas:	X=741602;Y=4088974m



(7)


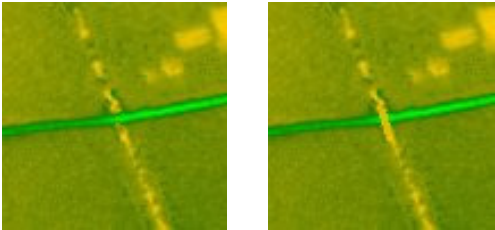

Elemento – ELIMINADO		
11	Tipo de elemento:	Compuerta (B)
	Tratamiento:	
	Descripción elemento/ tratamiento:	
	Imagen original:	
		
	Coordenadas:	X=741396;Y=4088943m



(5)





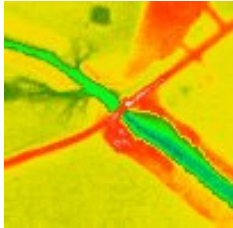
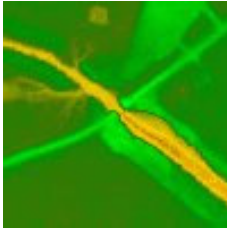
(continuación tabla ii.2)

<b>Elemento</b> 12	<b>Tipo de elemento:</b> <b>Tratamiento:</b> <b>Descripción elemento/ tratamiento:</b>  <b>Imagen original:</b>   <b>Coordenadas:</b>	<b>Compuerta (B)</b>   Compuerta en base dique que comunica con otra área por debajo el muro. La compuerta es de obra de fábrica. <b>Imagen compuerta abierta:</b>    X=740518;Y=4088767m	 (UTM 29N – ED50)
-----------------------	--	---	--

(7)

(continuación tabla ii.2)

Elemento 13	Tipo de elemento:	Compuerta (A)	
	Tratamiento:		
	Descripción elemento/ tratamiento:	Compuerta tipo (A) debajo pasarela. Se ha asignado una cota máxima de rebase de 2.7m (elemento 01). Se había eliminado del modelo. Se ha restituido la compuerta a dicha cota de rebase.	
	Imagen original:	Imagen Corregida:	



Coordenadas: X=737472;Y=4087794m (UTM 29N – ED50)

07/2000




Ficheros E13-01. Restituye la compuerta a 2.7m de cota. 18 puntos.



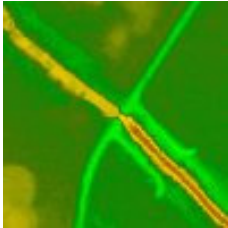
(continuación tabla ii.2)

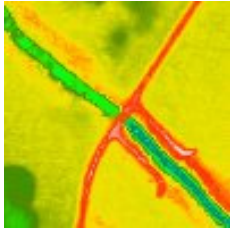
**Elemento**  
14

**Tipo de elemento:** Compuerta (A)

**Tratamiento:** 

**Descripción elemento/ tratamiento:** Compuerta tipo (A) debajo pasarela. Se ha asignado una cota máxima de rebase de 2.6m (elemento 01). Se había eliminado del modelo. Se ha restituido la compuerta a dicha cota de rebase.

**Imagen original:** 

**Imagen Corregida:** 

**Coordenadas:** X=736265;Y=4086718m

**Ficheros** E14-01. Restituye la compuerta a 2.6m de cota.




(UTM 29N – ED50)  
20 puntos.

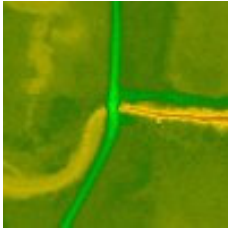
(7)

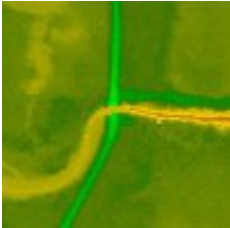
**Elemento**  
15

**Tipo de elemento:** Compuerta (B)

**Tratamiento:** 

**Descripción elemento/ tratamiento:** Compuerta en base dique que comunica con otra área por debajo el muro. La compuerta es de obra de fábrica.

**Imagen original:** 

**Imagen compuerta abierta:** 


**Coordenadas:** X=735592;Y=4083034m

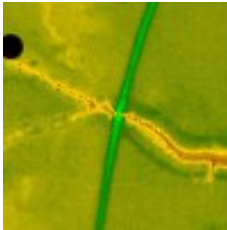


(UTM 29N – ED50)

(5)

(continuación Tabla II.2)

<b>Elemento</b> 16	<b>Tipo de elemento:</b> <b>Tratamiento:</b> <b>Descripción elemento/ tratamiento:</b> <b>Imagen original:</b>	Compuerta (B)  Compuerta en base dique que comunica con otra área por debajo el muro. La compuerta es de obra de fábrica. <b>Imagen compuerta abierta:</b>
-----------------------	---	--




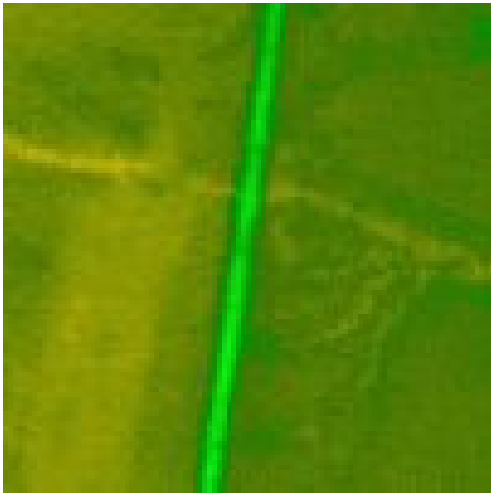
**Coordenadas:** X=735453;Y=4082693m



(UTM 29N – ED50)

(5)

<b>Elemento - INUTILIZADO</b> 17	<b>Tipo de elemento:</b> <b>Tratamiento:</b> <b>Descripción elemento/ tratamiento:</b> <b>Imagen original:</b>	Compuerta (B)  Compuerta en base dique que comunica con otra área por debajo el muro. La compuerta es de obra de fábrica.
-------------------------------------	---	--



**Coordenadas:** X=735420;Y=4082480m



(UTM 29N – ED50)

(5)

(continuación Tabla II.2)

**Elemento – INUTILIZADO**

18

**Tipo de elemento:**

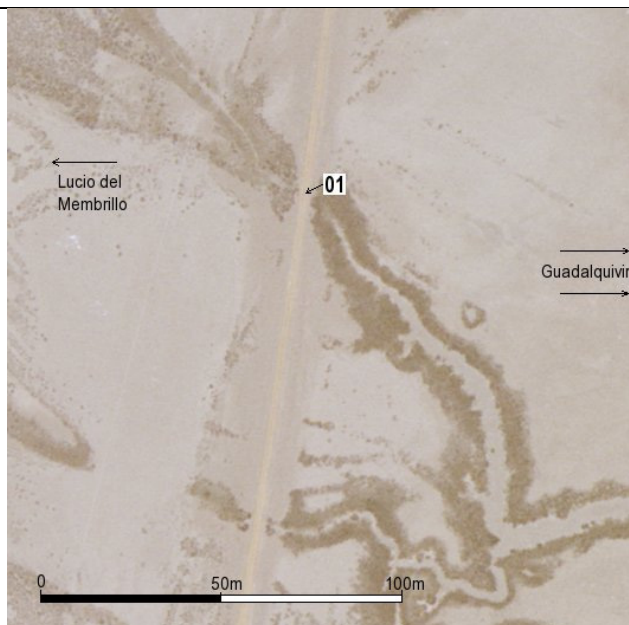
Compuerta (B)

**Tratamiento:****Descripción elemento/ tratamiento:**

Compuerta en base dique que comunica con otra área por debajo el muro. La compuerta es de obra de fábrica.

**Imagen original:****Coordenadas:**

X=735393;Y=4082274m



(UTM 29N – ED50)

(5)

**Elemento INUTILIZADO**

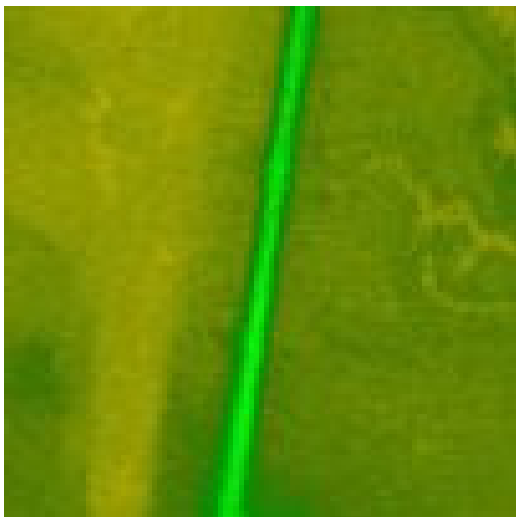
19

**Tipo de elemento:**

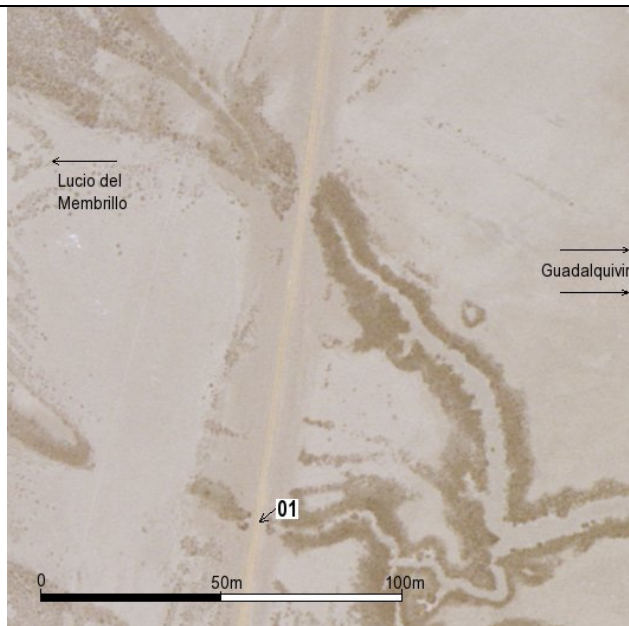
Compuerta (B)

**Tratamiento:****Descripción elemento/ tratamiento:**

Compuerta en base dique que comunica con otra área por debajo el muro. La compuerta es de obra de fábrica.

**Imagen original:****Coordenadas:**

X=735373;Y=4082135m



(UTM 29N – ED50)

(5)

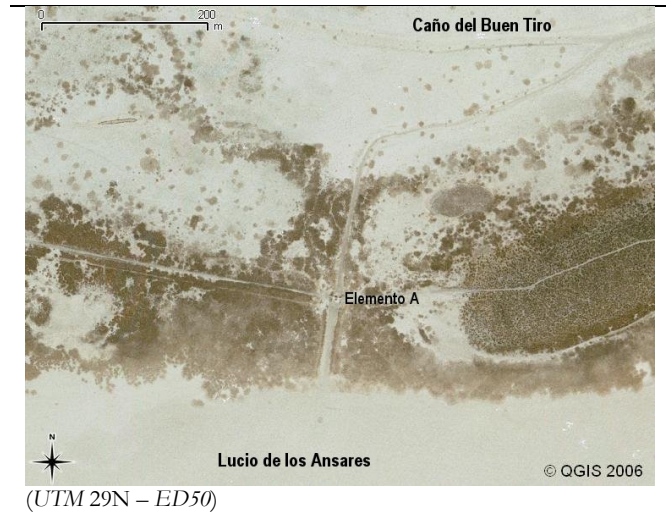


**Tabla II.3.** Relación de los elementos encontrados dentro en el perímetro del Parque Nacional en el levantamiento.**Elemento**

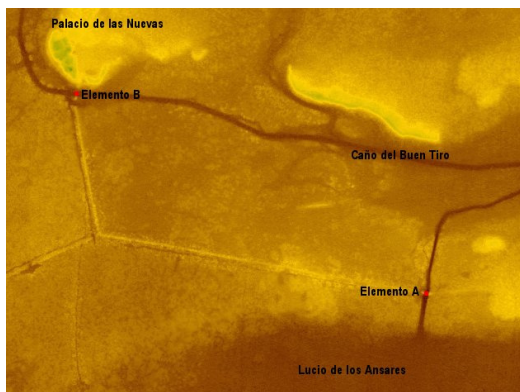
A



Coordenadas: X=738361;Y=4091588m

**Elemento**

B



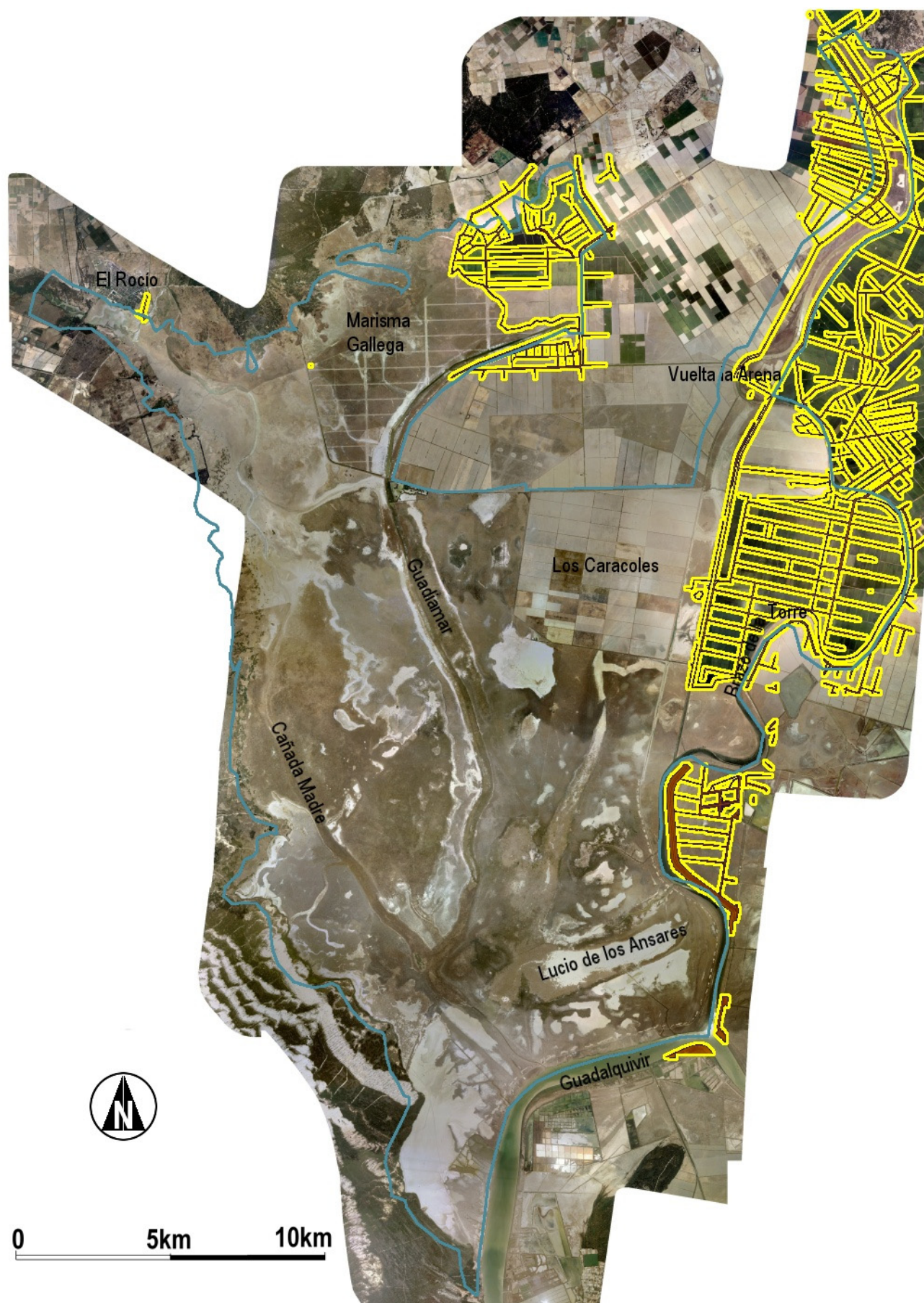
Coordenadas: X=737513;Y=4092069m

**A.II.3. DIQUES.**

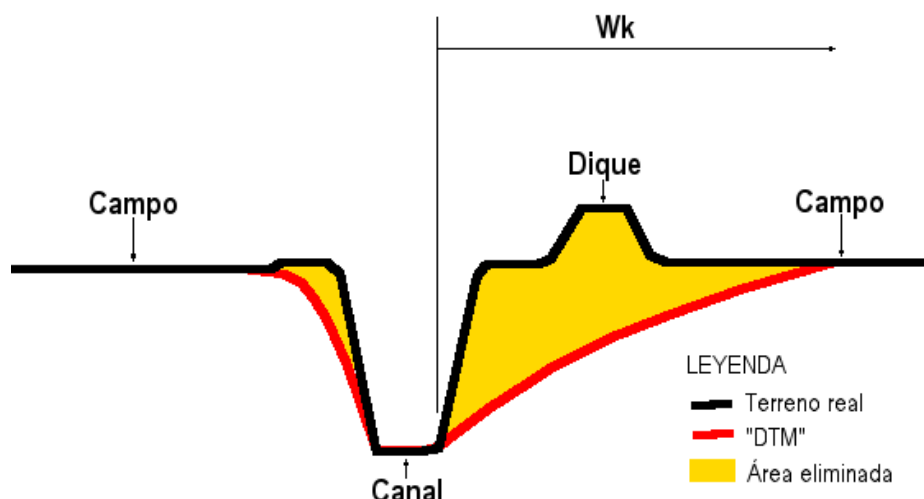
La importancia de estos elementos ya se ha mostrado en el capítulo 5. Aíslan áreas de la Marisma y controlan junto con el sistema de compuertas los flujos de agua. En la figura ii.8 se presentan los diques detectados tratados de forma incorrecta y las áreas donde estos han sido reprocesados, que se han marcado en amarillo y numerado de 1 a 12. Estas áreas son en su mayoría tratadas de forma automática por encontrarse fuera del perímetro de contrato marcado en azul en la figura ii.8. Su detección ha sido efectiva usando los vuelos virtuales incluidos en el anejo IV sobre el modelo fusionado con la ortofotografía (IOI, véase glosario). Las secciones en diques por errores de clasificación (figura 5.37) se han detectado de forma efectiva con ensayos de inundación con un contorno activo presentados en los capítulos 3 y 5.

La eliminación se produce en la clasificación de la nube de puntos *LiDAR*. El concepto del filtro usado identifica estos elementos como objetos por su morfología alargada. En cambio el principio de identificar los puntos de menor cota como terreno preserva elementos como los canales. En este caso se ha usado para la clasificación un operador morfológico. Éste usa una ventana para clasificar la nube de puntos. Los elementos con alguna dimensión menor que el ancho de esta ventana se clasifican como objeto y son eliminados. Un ejemplo de este proceso en las áreas analizadas se presenta en la figura ii.9. Este caso se da en las áreas de mayor densidad de reparaciones (figura ii.8), donde los puntos bajos del canal adyacente al dique con un ancho de ventana ( $W_K$ ) superior al ancho del dique producen el error de clasificación.





**Figura II.8.** Doñana: disposición de los diques recalculados en el levantamiento *LiDAR*. Se incluye el límite del contrato en azul. Por último se indican las áreas donde se han reprocesado los diques en amarillo. Cartografía base: ortofotografía y MDT *ALS*.



**Figura II.9.** Esquema del problema que elimina los diques. Se muestra el terreno real, el Modelo Digital del Terreno generado, el área eliminada y el tamaño de la ventana que causa el efecto ( $W_k$ ).

El proceso seguido en las áreas donde se han localizado errores se inicia reclasificando la nube de puntos. Para ello se ha usado un filtro de bloque mínimo con una malla de 2x2m (ver capítulo 2) que es la resolución final del modelo. Se ha usado un umbral vertical de 0.25m para clasificar la nube de puntos. En estos elementos son escasas las áreas de vegetación densa. En los lugares donde se ha encontrado este tipo de vegetación se ha aplicado un proceso de edición manual de filtrado. Con la nube de puntos clasificada como terreno se ha generado una modelo *TIN*, sobre la que se ha interpolado una malla regular de 2x2m con los nodos a reemplazar del modelo original. Los programas usados se incluyen con en el anejo III (*filter*). Los ficheros con el modelo corregido de incluye en al anejo IV.

#### A.II.4. CORRECCIONES EN CAUCES Y LAGUNAS

Como se ha indicado en el capítulo 5 se han detectado áreas con irregularidades en ambos ambientes (epígrafe 5.3.1.3). En las lagunas se ha considerado que las irregularidades detectadas no tienen efectos sobre el régimen hidráulico. En cambio, las detectadas en los cauces sí que tienen efectos.

Las correcciones realizadas al modelo se presentan en la figura ii.10. Las que presentan alineaciones rectas son los canales que drenan las áreas de arrozales.

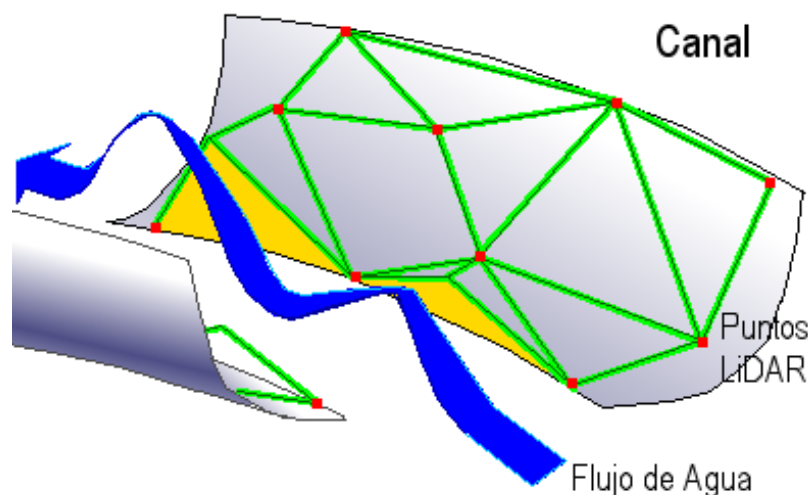
La irregularidad con mayor influencia en el modelado hidráulico es la presencia de artefactos en el cauce, que se han denominado falsas presas. Éstas tienen dos orígenes. El primero se ha dado en grandes cauces con influencia mareal y una extensión mayor al ancho de dos pasadas del vuelo *LiDAR*. Se han corregido los cauces del río Guadalquivir y el Brazo de la Torre. Se han detectado las pasadas realizadas con marea alta y baja (las altas generan las presas). La cota extraída de las bajas se ha impuesto a las áreas de estos cauces afectados por el régimen mareal. El segundo origen de estos artefactos se presenta en la figura ii.11. En ésta se observa que en algunos tramos los puntos *LiDAR* no han llegado al fondo del canal. Así un punto en el margen está más cerca de otro punto en el otro margen que de otro en fondo del cauce. El *TIN* generado crea el artefacto. La detección de estos artefactos se ha realizado con análisis de inundación con contorno activo, presentados a modo de ejemplo en la figura 5.51 (los artefactos en la figura 5.45). Dada la morfología llana de los cauces y la previa detección de las compuertas en los cauces, se analizan las curvas de superficie y volumen inundados y se detecta la presencia de estos elementos (producen saltos bruscos en estas curvas). El tratamiento seguido en estos casos donde no hay puntos *LiDAR* para representar correctamente fondo ha sido detectar los valores mínimos en cada tramo del cauce e interpolar linealmente el fondo del cauce en los tramos con artefactos. En algunos casos como el desagüe de la Figuerola o el de Brenes se ha impuesto una sola cota. Este procedimiento no genera la forma real del cauce ya que no se tiene información de la parte inundada pero se ha creído que era la óptima con los datos disponibles por que permite el paso de las aguas y introduce errores mínimos (como se ha comentado ya en la memoria).



Los ficheros con las correcciones se incluyen en el anejo IV.



**Figura II.10.** Doñana: situación de las correcciones realizadas en cauces y canales en el levantamiento *LiDAR*. Se han marcado con un borde amarillo. En azul se incluye el perímetro de contrato. Cartografía base: ortofotografía y MDT *ALS*.



**Figura II.11.** Esquema de formación de las falsas presas en canales estrechos. Se ha indicado la trayectoria vertical que debe realizar el flujo de agua.

### A.II.5. AREAS

Dentro de esta denominación se han incluido aquellas zonas del levantamiento donde la definición del modelo se ha considerado que no ha sido suficiente. En general la caracterización de estas áreas no tiene grandes implicaciones hidráulicas.

Se incluyen con esta denominación las áreas de arrozales y las dunas activas. Éstas habían sido tratadas de forma automática en el modelo original, sin una edición manual de la solución, debido a encontrarse en su mayoría fuera del perímetro de contrato. Éste es el origen de la diferencia de calidad con otras áreas del levantamiento.

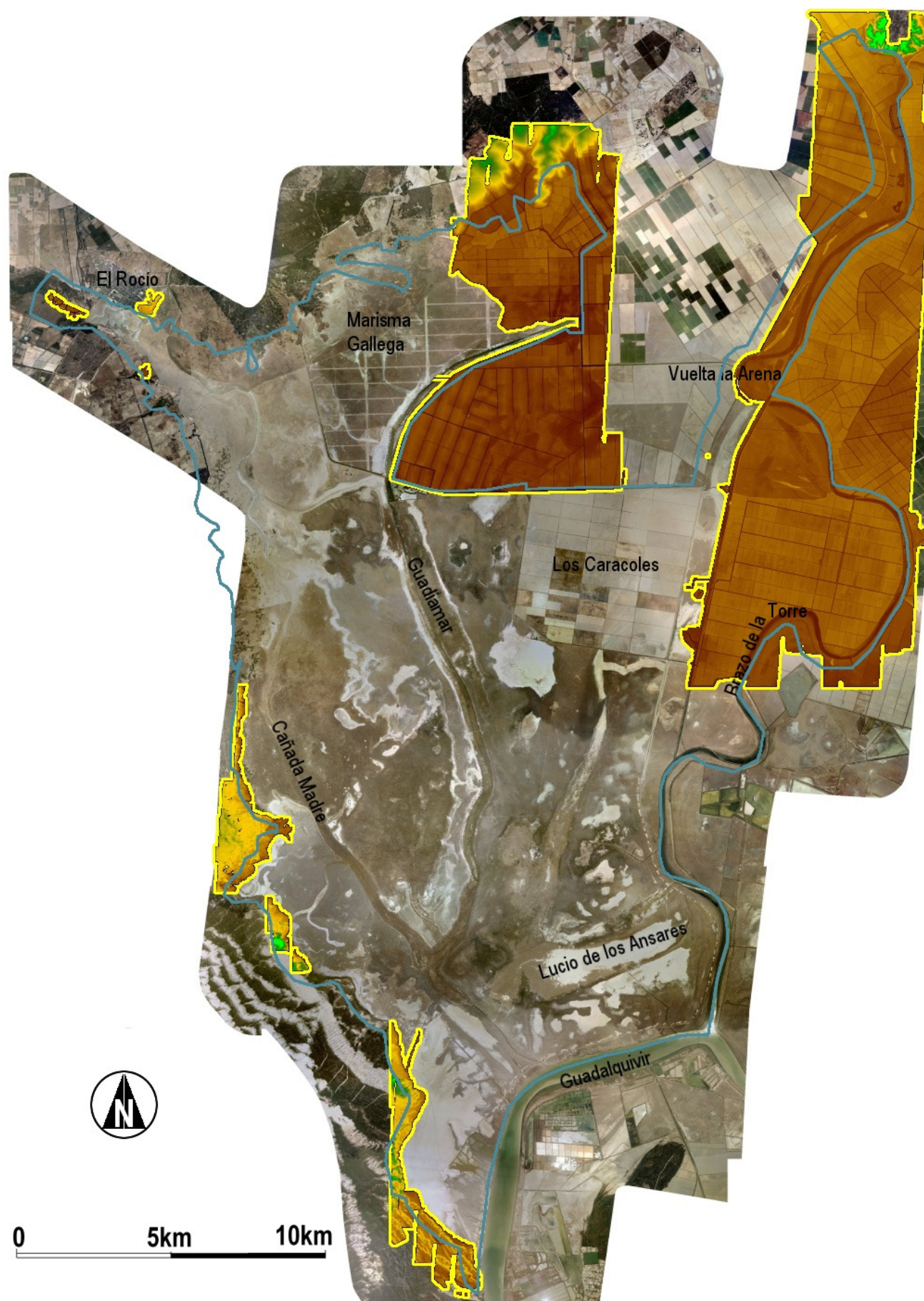
En los arrozales, los criterios que han funcionado de forma efectiva en la Marisma han sido demasiado restrictivos. En su tratamiento se han reprocesado dos modelos, uno con un filtro morfológico de 10x10m y otro con otro de 2x2m. Para el primer filtro se ha usado un umbral de pendiente de 0.25m. Del segundo modelo se han extraído los elementos que requieren una mayor definición como los diques o los cauces. La vegetación de este segundo modelo se ha extraído de forma manual (es muy reducida). Sobre esta identificación de elementos se ha realizado la fusión de los dos modelos para generar el modelo reprocesado.

En el caso de las dunas se han reprocesado con los criterios de pendientes definidos en el capítulo 6. Los criterios definidos para la Marisma se habían aplicado también en estos ambientes automáticamente. El resultado había sido una mala definición de la parte superior de los frentes dunares. Se ha usado un filtro morfológico con los criterios de pendientes definidos en la tabla 6.3 (capítulo 6) como A1. Los restos de vegetación no eliminados por el filtro han sido eliminados de forma manual y los elementos que han perdido definición (frentes dunares con una sección menor a los 10m) han sido redefinidos con un modelo realizado con una ventana de 2x2m.

Un tercer grupo de datos (muy minoritario) es la redefinición de algunas áreas inundadas como la Canariega. En éstas se habían eliminado pequeñas islas interiores de poca elevación en el cauce. No se han incluido en el epígrafe anterior ya que no son áreas inundadas, que son las que se han tratado en ese epígrafe.

Los ficheros con el modelo corregido de incluyen en el anejo IV.





**Figura II.12.** Doñana: Áreas reprocesadas del modelo a partir de reclasificar los puntos *LiDAR* originales. Cartografía base: ortofotografía y MDT *ALS*.

### A.II.6. ARTEFACTOS

Se han incluido dentro de esta descripción genérica todos aquellos que no se han destacado a parte (con un nombre propio), como las falsas presas. Éstos tienen esencialmente dos orígenes: la vegetación y errores excesivos en la determinación de las coordenadas de los puntos *LiDAR*.

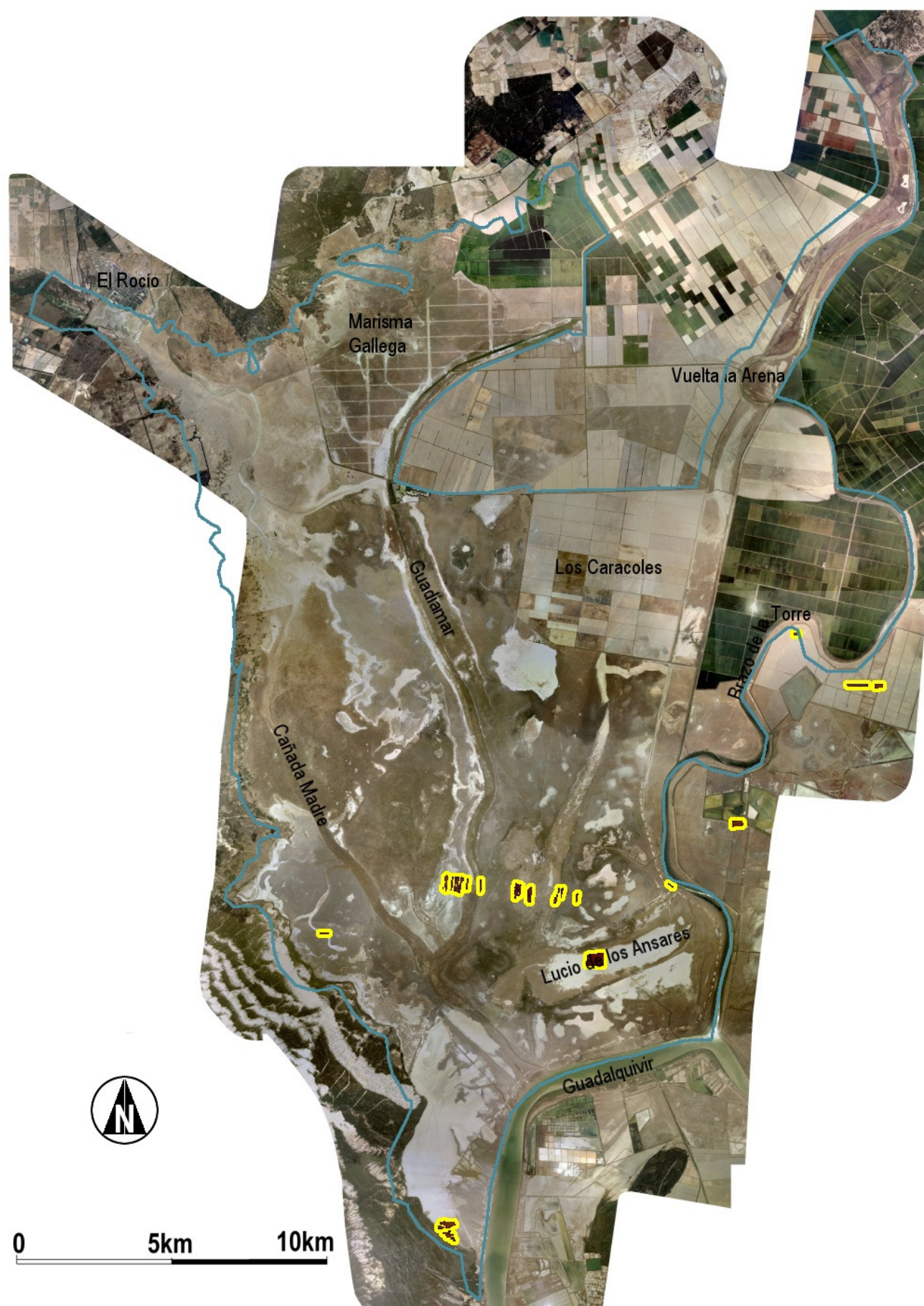
Los primeros producen falsos puntos elevados (figura 5.35) y sólo se han reparado en los casos con una gran diferencia altimétrica (vegetación, tabla ii.1). No se ha considerado que estos tengan alguna implicación hidráulica.

Los segundos (coordenadas con errores excesivos) se han atribuido a errores en el conjunto de los sistemas *GPS/INS*. En el procesado para obtener las coordenadas de cada medida láser ya se efectúa un control de calidad (capítulo 2), pero no son suficientes en un área como Doñana. Así se han incluido puntos con errores de unos 25cm en su coordenada Z (como se ha mostrado en el epígrafe 5.3.1.5). En áreas totalmente llanas como es el Lucio de los Ánsares (figura 5.49) los artefactos que generan estos errores son visibles. Sólo en un caso tenían implicaciones hidráulicas (figura 5.38), pero se ha optado por tratar los detectados.

El conjunto de los artefactos reparados se presentan en la figura ii.13. El procedimiento de usado ha sido el siguiente. Se han detectado las áreas con estas deficiencias. En cada una de ellas se han localizado los puntos *LiDAR* afectados por este error excesivo y se han eliminado. Con los puntos restantes se ha generado un *TIN* y sobre éste una malla regular con la misma resolución que el modelo original. En las áreas sin puntos se ha usado la ortofotografía para generar un modelo de baja calidad.

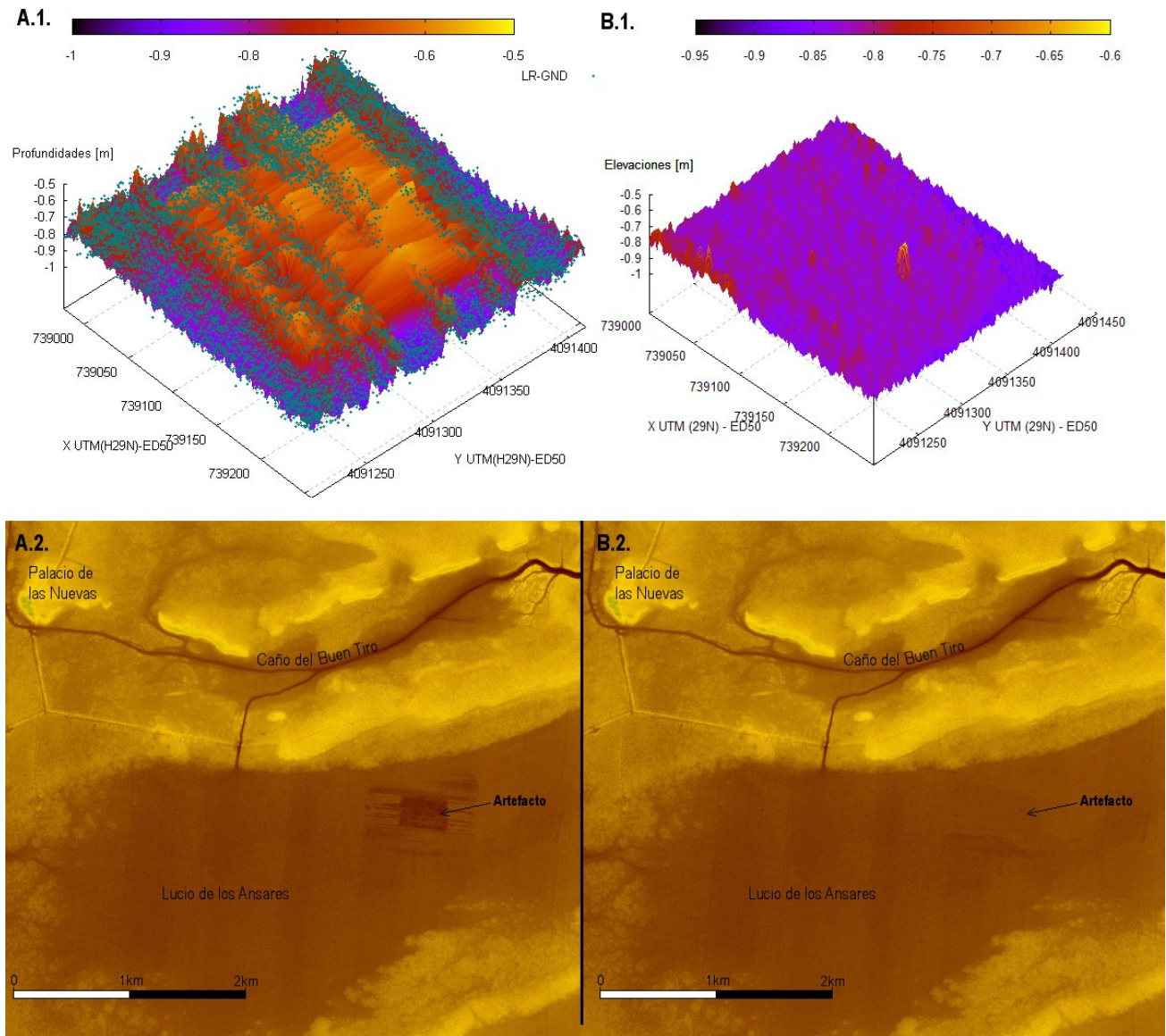
En la figura ii.14 se presentan los resultados de un artefacto en el Lucio de los Ánsares (presentado ya en las figuras 5.49 y 5.54). En la figura se presenta el modelo original (A.1 y A.2) con los puntos clasificados como terreno. En la subfigura A.1, con el modelo invertido, se observa la influencia de los puntos *LiDAR* afectados por un error excesivo. Estos puntos son los que forman el artefacto. El MDT reparado (subfigura B.1 y B.2) muestra la misma área después del proceso de reparación.





**Figura II.13.** Doñana: situación de los artefactos reparados en el modelo *LiDAR*. Se han destacado con un borde amarillo para su identificación. Se incluye también en azul el perímetro de contrato. Cartografía base: ortofotografía y MDT *ALS*.





**Figura II.14.** Ejemplo de un caso con un error atribuido al conjunto de sistemas *GPS/INS* corregido. **A.1.** Modelo invertido con el artefacto con la nube de puntos clasificada como terreno. **A.2.** Vista 2D del modelo con el artefacto. **B.1.** Vista 3D del Modelo Digital del Terreno corregido invertido. **B.2.** Vista en 2D del MDT invertido. Coordenadas *UTM* huso 29N en metros. Datum *ED50*.



## ANEJO III:

### MANUAL DE USUARIO DE LOS PROGRAMAS DESARROLLADOS

En esta sección se presentan los manuales de usuario de los programas desarrollados para los cálculos presentados en la memoria. Éstos se han desarrollado en FORTRAN para los procesos de cálculo y en VISUAL BASIC para el entorno gráfico que permite controlar y usar los otros programas de forma automatizada.

Las aplicaciones pueden trabajar de forma conjunta o independiente. Trabajan de forma automática usando la línea de comandos. Las tareas que cubren las aplicaciones se presentan a continuación:

- Clasificación de la nube de puntos *LiDAR (Filter)*. Se han implementado dos algoritmos de clasificación de la nube de puntos para poder reclasificar los datos originales en las áreas con problemas.
- Edición de los ficheros originales *ASCII (Fview)*. Una simple aplicación que permite visualizar ficheros con gran cantidad de puntos (se han probado ficheros de 80 millones de puntos) y realizar distintas operaciones con el fichero abierto: operaciones matemáticas entre columnas, adición de columnas, estadísticas de columnas, histogramas de columnas o extracción de alguna parte del fichero.
- Aparejamiento de retornos *LiDAR (LSRetPair)*. Permite asociar los puntos de cada retorno a una medida.
- Transformación de coordenadas / datums (*MCal*). Permite hacer cambios de proyecciones y transformaciones a millones de puntos.
- Mallado (*MeshTri2d* y *MeshGrid*). Permiten generar un Modelo Digital de Elevaciones. El primero genera un *TIN* con una nube de puntos dada. El segundo, un modelo regular sobre el *TIN* generado por el primero.
- Segmentación (*MMosac*). Permite dividir el problema en subáreas para reducir los tiempos de proceso.
- Generación de imágenes / visualización (*PNM*). Carga un modelo en memoria, imágenes en formato PNM y pasa de uno a otro. Además contiene las aplicaciones de análisis de pendientes, orientaciones y cálculos hidráulicos, usando la habilidad de leer mapas con tintas hipsométricas y Modelos Digitales de Elevaciones, y trabajando conjuntamente con toda esta información.
- Automatización (*MMauto*). Esta aplicación se encarga de ejecutar sentencias de forma secuencial para un conjunto de ficheros dados o un árbol de directorios.

También se han usado aplicaciones ya existentes de distribución libre para visualizar las imágenes generadas (*GIMP* - Mattis y Spencer [1997-2006]) o la nube de puntos clasificados para pequeñas áreas (*GNUPlot* - Williams y Kelley [1986-2004]) o el modelo en 3D fusionado con otra información (*3DEM* - Richard [2004]) o, por último tratamiento de imágenes (*IMAGEJ* - Rasband [1997-2006]). Éstos no se incluyen en este anejo. En las referencias se incluye la página principal de acceso y descarga de cada uno de ellos.

El código fuente de todos los programas desarrollados se incluye el anejo digital IV. Su uso se ha decidido que esté regulado por el acuerdo de licencia *GPL (GNU Public license)*.

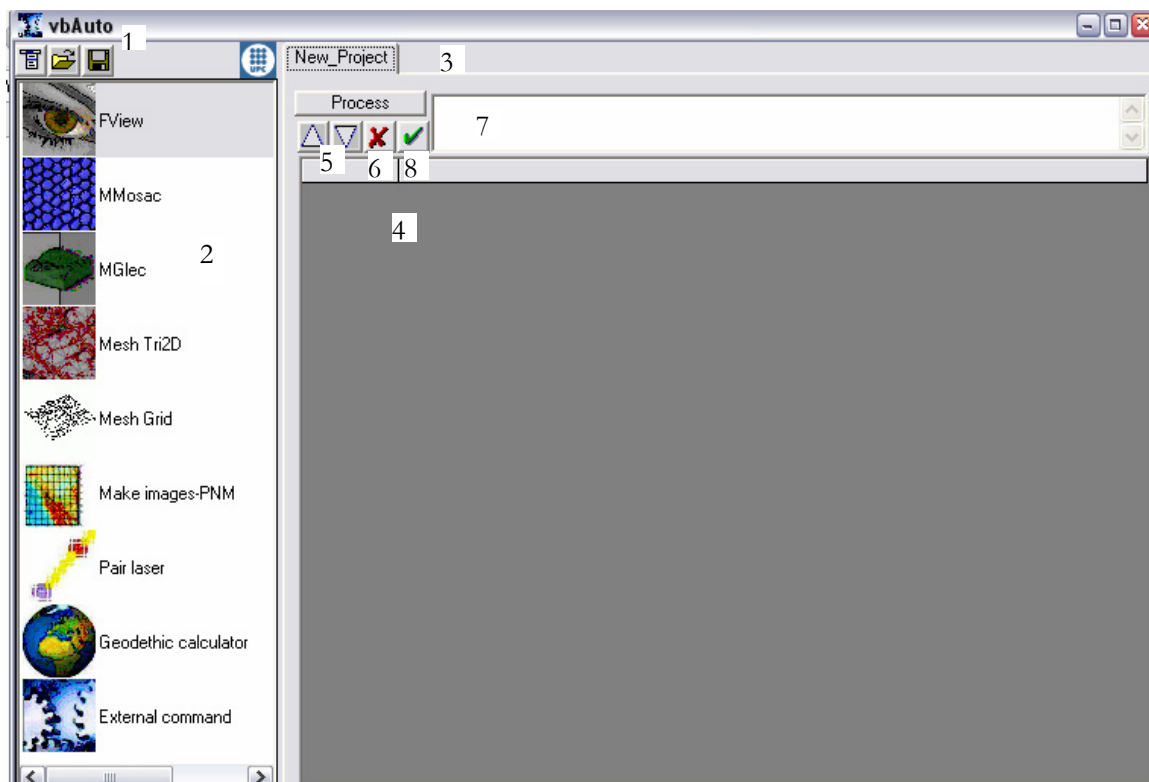
Para los programas en FORTRAN se han usado los compiladores de COMPAQ (6.5) e INTEL (9.0). Con este último se ha verificado el funcionamiento en los sistemas operativos Windows (XP-32, W2000, 9X) y Linux (*Mandriva* y *Ubuntu*).

El programa en Visual Basic se ha comprobado en sistemas Linux con el emulador de Windows *wine*. En el manual de usuario se especifica que funciones funcionan con cada sistema operativo (W=Windows; L=Linux).

### A.III.1. VBAUTO

Esta aplicación permite preparar de forma visual y asistida las llamadas al resto de programas, pudiendo automatizar todo el proceso desde la clasificación de la nube de puntos hasta la generación de un Modelo Digital de Elevaciones regular.

La pantalla principal de la aplicación se presenta en la figura iii.1. En la parte superior se presentan 3 botones que permiten generar nuevos proyectos, abrir uno ya existente o guardar el que está en la pestaña seleccionada (1). A la izquierda el acceso a la selección de los menús de cada uno de los programas, pudiendo también introducir comandos externos (2). Se abre una pestaña por cada proyecto abierto, pudiendo tener más de un proyecto abierto (3). Para cada proyecto se incluye la lista secuencial de los comandos que aplicarán el proyecto (4). Éstos pueden cambiarse de orden con las flechas (5) o eliminarse (6). Para modificarlos se cambia en la ventana de texto (7) y se verifica el cambio (8), pasando éste a la lista de comandos (4).



**Figura III.1.** Pantalla principal de la aplicación *vbauto*.

Para cada aplicación descrita en este anejo se ha realizado una interfaz gráfica para generar la instrucción necesaria para el programa *mmanto* (ver epígrafe A.III.6) que gestiona las instrucciones de (4). Haciendo clic a la izquierda de la ventana de la figura sobre los iconos se abren las interfaces para cada programa. A continuación se describen brevemente cada una de ellas. Las descripciones de los parámetros están en los epígrafes dedicados específicamente a cada programa. Los comandos de esta ventana funcionan en W y L.

### A.III.1.1. Fview

La interfaz para el programa *fview* (figura iii.2) tiene esencialmente cuatro secciones (1, 2, 3 y 4). En la primera sección (1) se da la opción de aplicar el comando sobre un fichero en concreto o sobre un árbol de directorios. El directorio raíz se debe incluir en el cuadro de texto de la sección. Una vez se han completado correctamente, haciendo clic sobre el botón “Add command” se añaden los comandos al cuadro de texto con el comando completo (3-figura iii.2). A continuación se liberan las funciones del programa *fview*. Haciendo clic sobre cada uno de ellos se piden por pantalla los parámetros necesarios. Cada comando añadido se muestra en la ventana de texto de la sección 2. Una vez está completo cada comando se debe hacer clic sobre el botón con la flecha para agregarlo al comando total (3-figura iii.2) y borrarlo de la ventana de texto de 2. Una vez se han completado todas las instrucciones haciendo clic sobre el botón “Send command” se añade la instrucción a la ventana principal (en Linux con el emulador *wine* este botón no funciona; el modo de funcionar es copiar el contenido del cuadro de texto 3 y pegarlo manualmente en la ventana principal).

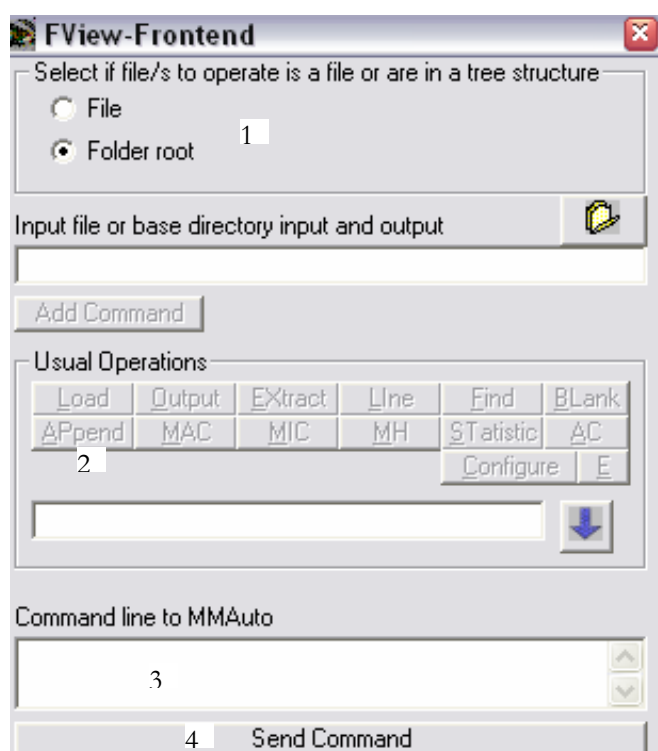


Figura III.2. Pantalla con los comandos para el programa *fview*.

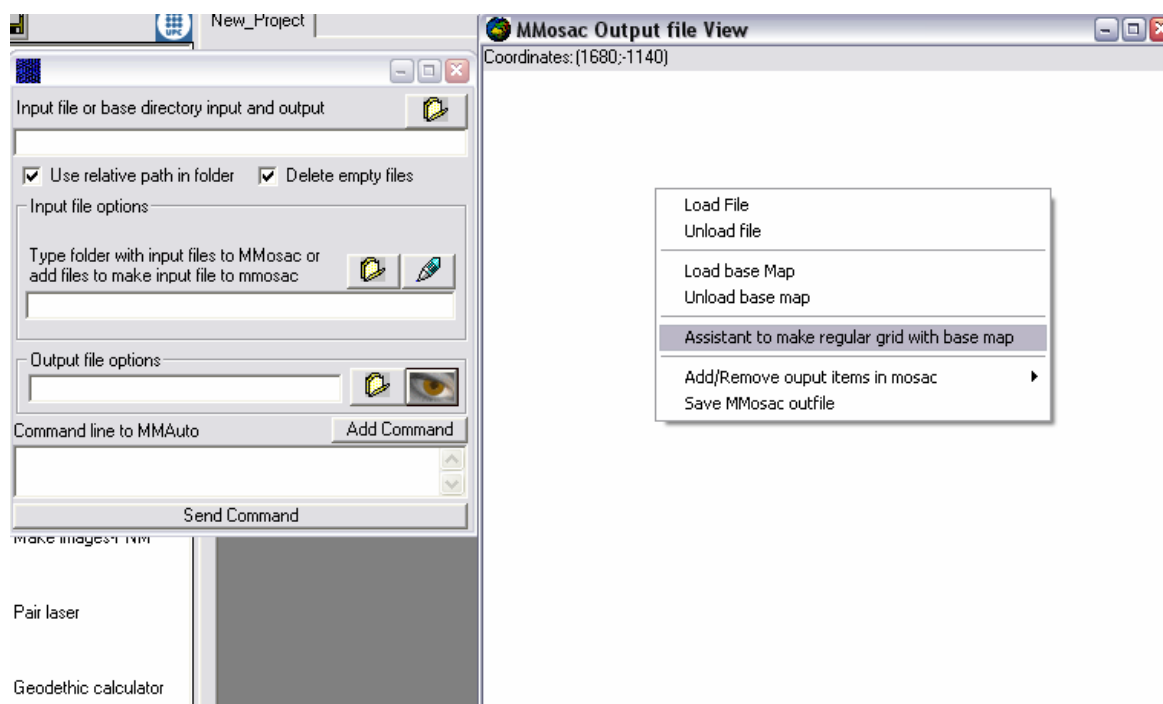
Para una descripción detallada de cada uno de los comandos de la sección 2 de la figura ver el epígrafe A.III.3, donde se describen ampliamente cada una de las funciones y sus opciones.

### A.III.1.2. MMosac

Esencialmente el programa permite agrupar los puntos *ALS* dando ficheros de entrada y ventanas de salida, una para cada fichero. El conjunto de pantallas para este programa permite generar fácilmente la lista de ficheros de entrada y de ventanas de salida (ver epígrafe A.III.10). Las dos primeras ventanas se presentan en la figura iii.3. A la izquierda se muestra una ventana análoga a la del epígrafe anterior. Hay un primer bloque para indicar que las instrucciones del programa se van a aplicar con dos ficheros en concreto (uno de entrada y otro con las ventanas de salida) o los va a encontrar en un árbol de directorios y los debe ejecutar para cada uno de esos directorios. En esta primera sección también se explicita si se debe usar la ruta completa o relativa en las listas de los ficheros de entrada y de salida, y si se deben borrar los ficheros vacíos una vez acabado el proceso de segmentación. La segunda sección de la ventana permite abrir o generar el fichero con la lista archivos de entrada con los puntos. La tercera sección permite abrir un fichero con las ventanas de salida o crearlo. Si se hace clic en

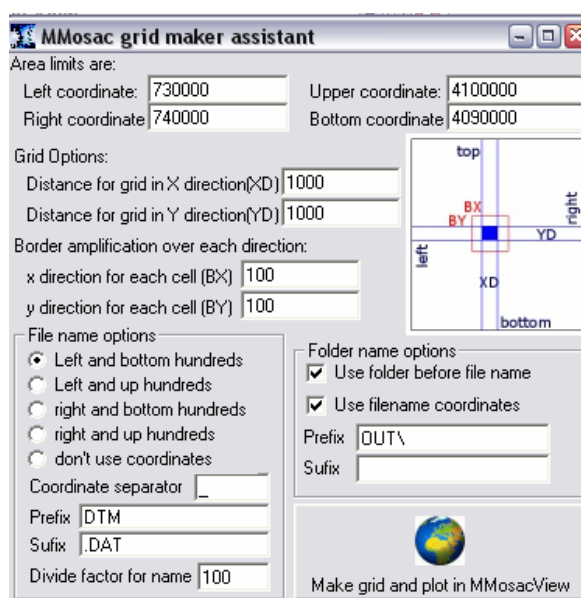


el botón con el icono con forma de ojo se abre la ventana de la derecha de la figura iii.3. Ésta permite cargar una imagen de fondo (JPG, BMP, GIF) pidiendo la georeferenciación. Haciendo clic con el botón derecho permite también cargar un fichero con las ventanas definidas o generar una segmentación nueva de toda el área con el asistente.



**Figura III.3.** Ventanas principales para generar un comando para el programa *mmosac*. En la figura se presenta a la izquierda la ventana principal y a la derecha la ventana para generar un fichero con las ventanas de salida. Se ha activado el menú secundario, con el botón derecho del ratón, para mostrar los principales comandos de este entorno gráfico.

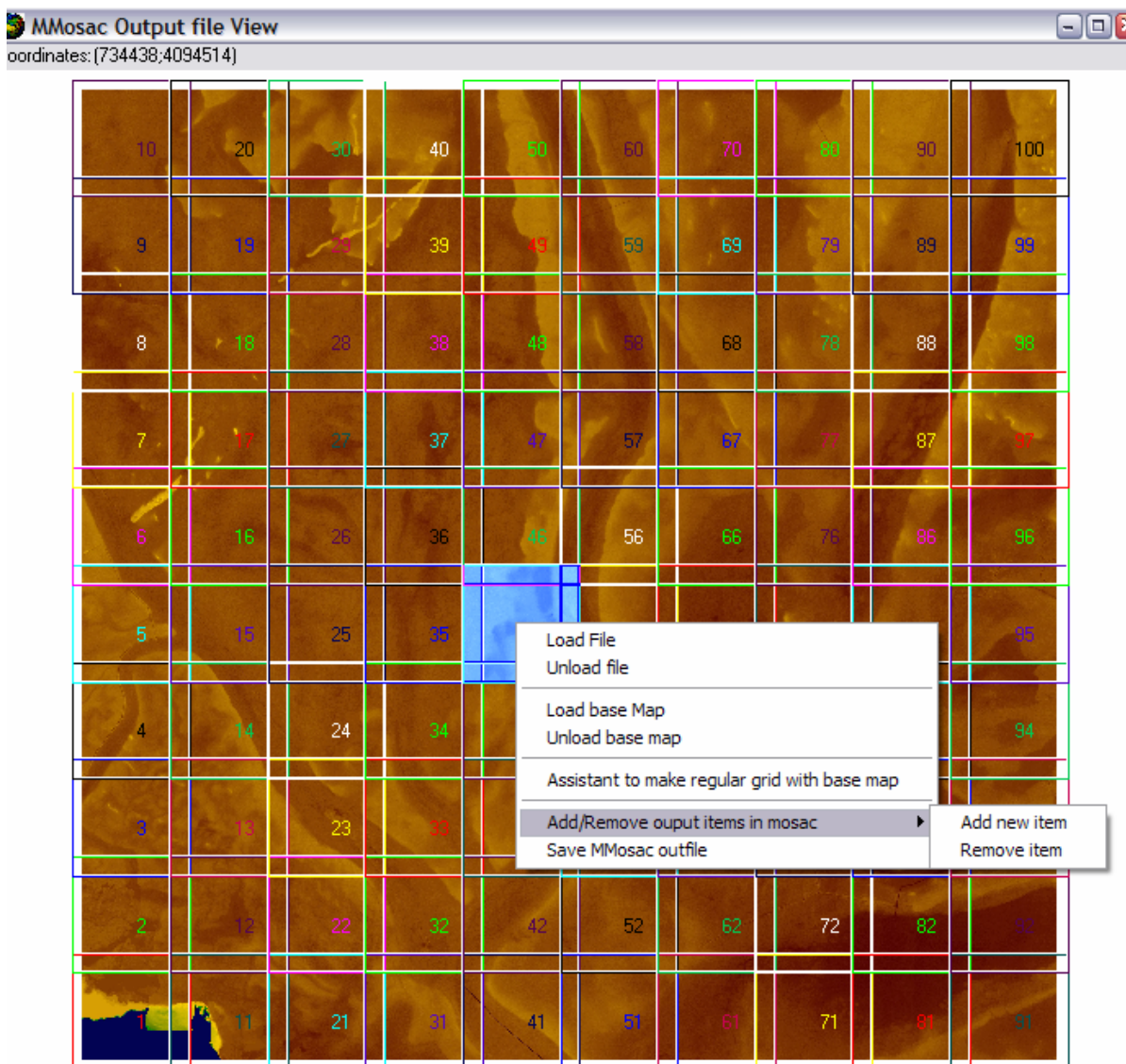
El asistente se presenta en la figura iii.4. En él se piden en primer lugar los límites del área (si se ha cargado una imagen aparecen los de la imagen), el tamaño de cada ventana en cada eje (X/Y) y la ampliación de los bordes de las ventanas definidas para asegurar solapes entre áreas. El resto de parámetros definen el nombre de los ficheros de salida y los prefijos a usar (permiten definir carpetas). Haciendo clic en “Make...” se dibuja en la ventana derecha de la figura iii.3.



**Figura III.4.** Asistente para dividir de forma automática un área en ventanas regulares para el programa *mmosac*.

El ejemplo con los valores de la figura anterior se presenta en la figura iii.5 sobre la imagen del área en el fondo. En la figura se pueden ver las 100 ventanas generadas. Haciendo clic sobre alguna de ellas se selecciona, y haciendo clic con la derecha se accede al menú que permite eliminar una ventana o añadir manualmente otra.

Una vez se acepta la disposición de ventanas con la misma acción se accede al menú “Guardar un fichero de salida *mmosac*”. Éste graba un fichero con la lista de ventanas de salida.



**Figura III.5.** Ejemplo del entorno gráfico que permite gestionar las ventanas (de 1 a 100 en este caso) y borrar alguna de ellas si es necesario.

Una vez seleccionados todos los parámetros de la ventana principal (izquierda figura iii.3) haciendo clic en el botón “*Add command*” se añade al cuadro de texto con el menú a insertar en la ventana principal del programa (4-figura iii.1).

### A.III.1.3. MGlec

En programa cambia de formato mallas regulares. La ventana para añadir una instrucción usando el programa *mglec* se presenta en la figura iii.6. La estructura es totalmente similar a las funciones ya explicadas. El botón con una flecha añade el comando de cada sección a la instrucción completa. Los parámetros del programa *mglec* se pueden consultar en el epígrafe A.III.5. Allí se da una descripción detallada de cada parámetro y su uso.

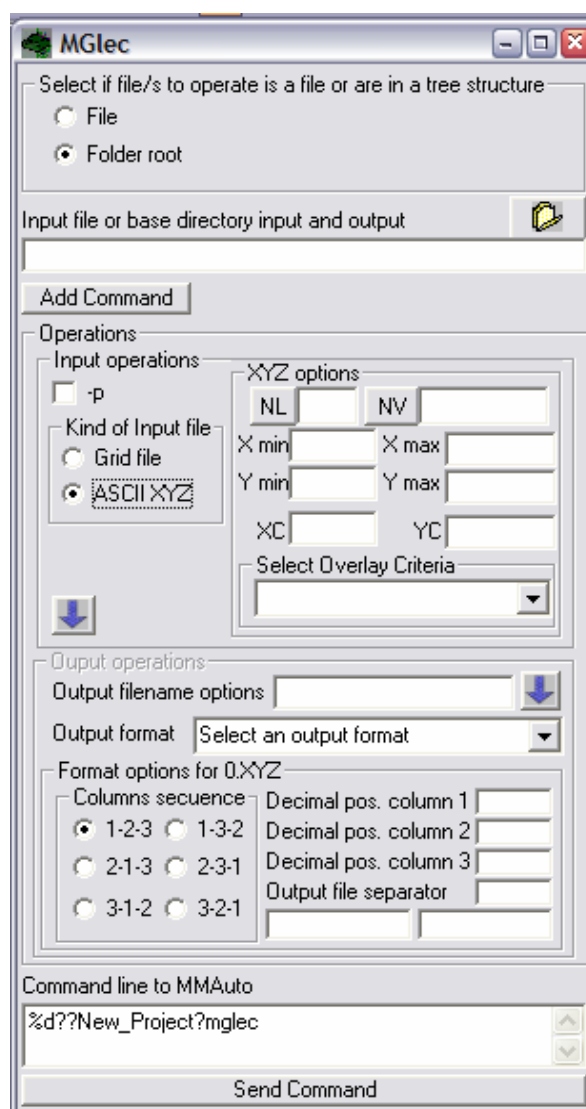


Figura III.6. Ventana con las opciones para llamar correctamente al programa *mglec*.

#### A.III.1.4. Filter

Éste es el programa que realiza el filtrado de la nube de puntos *ALS*. La ventana para generar un comando para el programa de clasificación de puntos *filter* se presenta en la figura iii.7. La estructura de la ventana es similar a las ya expuestas, con una primera sección para aplicar las instrucciones sobre ficheros o sobre un árbol de directorios y, a continuación, los argumentos descritos en el epígrafe A.III.2 para el programa *filter*.

En primer lugar los ficheros de entrada para la clasificación. También se pueden incluir de forma relativa con el lenguaje descrito en el epígrafe A.III.6. Además se puede escoger la ruta de salida de los ficheros clasificados.

Con la pestaña con los nombres de los filtros implementados se puede acceder a cada uno de sus parámetros, descritos en el epígrafe A.III.2 (bloque mínimo y filtro morfológico progresivo).

En la última sección se puede modificar alguna parte del comando y enviarlo a la ventana principal del programa *vbauto*.

Así un ejemplo sobre un árbol de directorios sería:

```
"%d?C:\PROCESS\OUT\?740_4110?filter ifile=#@\DTM_@.DAT f=1 mp=DEM_ ms=.DAT pp=PTS_@ ps=.DAT si=0
sm=0 c=0 xl=@_!1i(*100)(-100)[ xr=@_!1i(*100)(+500)(+100)[ yb=@_!2i(*100)(-100)[ yt=@_!2i(*100)(+500)(+100)[ cs=2
dh0=0.18 dhm=3 iwk=0 b=1 wkm=5 s=0.4"
```

El resultado para una carpeta llamada “740\_4090” el fichero de entrada será “C:\PROCESS\OUT\740\_4090\DTM\_730\_4090.DAT” con un área de 700x700m (100 metros por lado de solape).

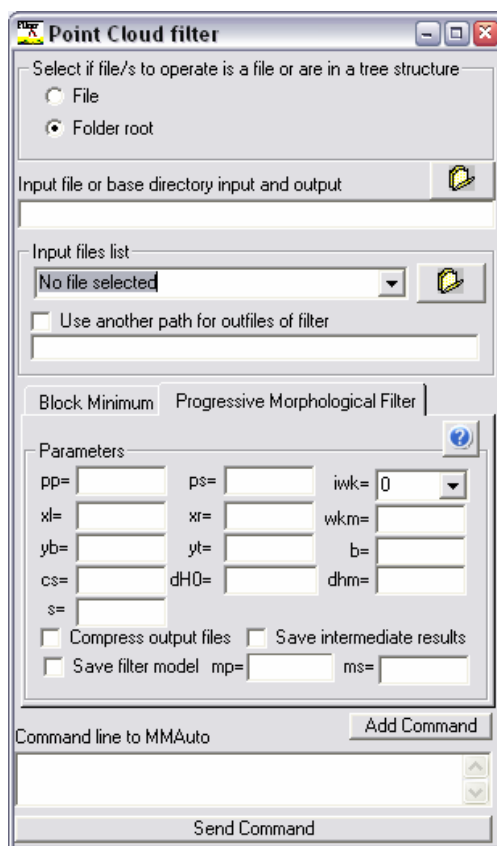


Figura III.7. Ventana con las opciones para el programa *filter*.

#### A.III.1.5. Mesh\_tri2d

Éste programa genera una triangulación de *Delaunay* en 2D con el método de Watson. La ventana del programa se presenta en la figura iii.8. La forma de la ventana es totalmente análoga a las ya presentadas. La descripción de los parámetros se encuentra en el epígrafe A.III.9. A la derecha se muestra la ventana de ayuda para generar rutas relativa a ficheros adaptable cuando de aplica la instrucción a un árbol de directorios.

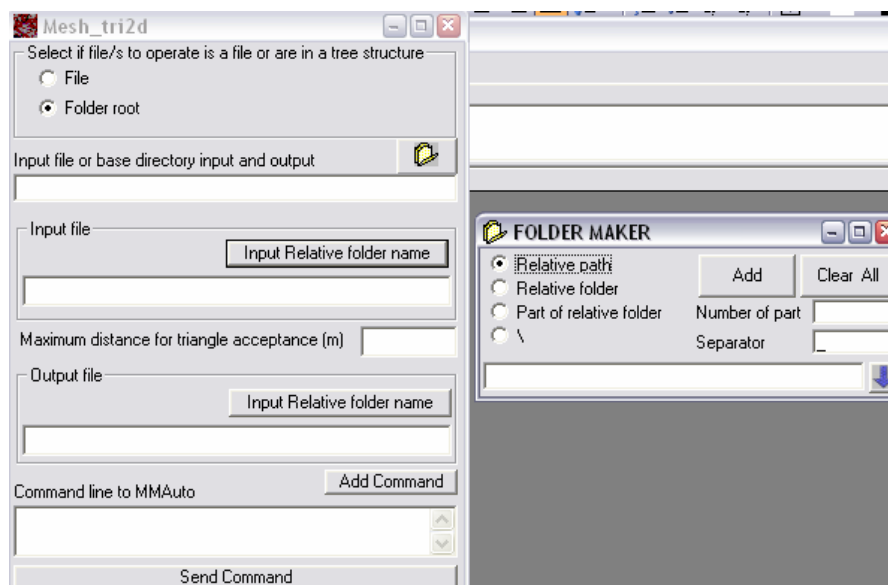


Figura III.8. Ventana de introducción de parámetros del programa *mesh\_tri2d*. A la derecha la ventana de ayuda para introducir nombres y rutas relativas de ficheros.

### A.III.1.6. Mesh\_grid

El programa interpola mallas regulares sobre un *TIN* generado previamente. La ventana para el programa *mesh\_grid*, descrito en el epígrafe A.III.8, se presenta en la figura iii.9. En el caso de introducir ficheros relativos (en su posición o nombre) aparece también la ventana de ayuda para su generación.

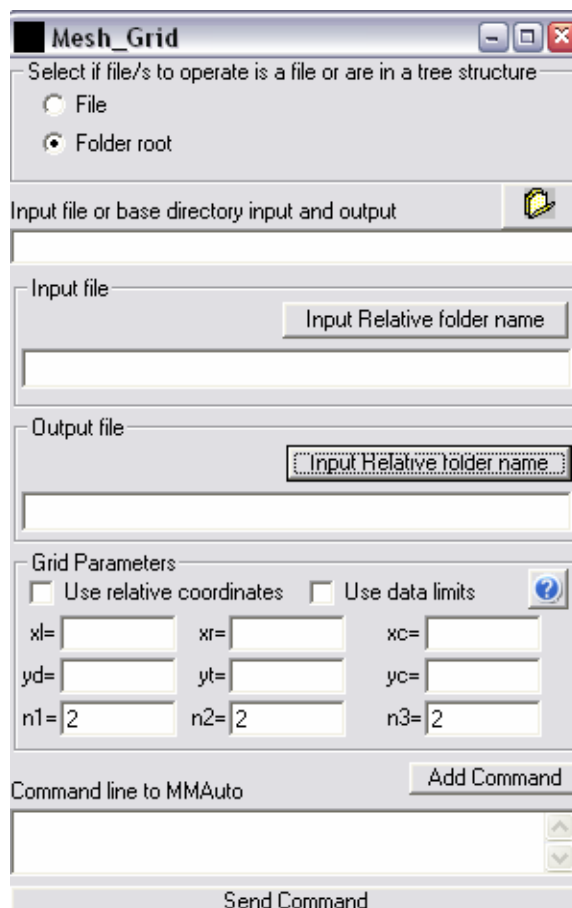


Figura III.9. Ventana para la generación de comandos para el programa *mesh\_grid*.

Así por ejemplo si se está trabajando sobre un árbol de directorios con la estructura 740\_4090 (X en miles de metros e Y en miles de metros) es aplicable el comando:

```
"%d%C:\PROCESS\OUT\?740_4110?mesh_grid ifile=#@\DTM_@.TRI ofile=#@\DTM_@.GRI xl=@_!1>(*100)[
xr=@_!1>(*100)(+500)(-1) yd=@_!2>(*100) yt=@_!2>(*100)(+500)(-1) xc=2 yc=2 xdec=2 ydec=2 zdec=2"
```

Este comando genera el fichero "C:\PROCESS\OUT\740\_4090\DTM\_740\_4090.GRI" sobre áreas de 500x500m con una malla de 2x2m y usando dos decimales para cada coordenada de un punto.

### A.III.1.7. PNM / LSRetPair

Las ventanas de introducción de parámetros para estos dos programas tienen la misma estructura que las ya presentadas en los apartados anteriores. Para ver los parámetros de cada programa consultar los epígrafes A.III.11 y A.III.4.



### A.III.1.8. Mcal

Este programa permite cambios de coordenadas y datums. La ventana para generar un acceso automático al programa se presenta en la figura iii.10. La estructura de la ventana es similar a las que ya se han presentado en este apartado. Para consultar los parámetros del programa y su significado ver el epígrafe A.III.7. En este programa no se envían los comandos por la línea de comandos, se envía un fichero que contiene los comandos. La configuración del fichero se muestra en la ventana de texto intermedia. Las opciones de cada comando están implementadas en el menú de pestañas.

Los comandos para introducir rutas relativas de ficheros y nombres relativos se reservan sólo cuando se aplican a un árbol de directorios. No se pueden aplicar cuando se usa la aplicación sobre ficheros. Es el programa *mmauto* el que se encarga de escribir los ficheros cuando se aplica a un árbol de directorios.

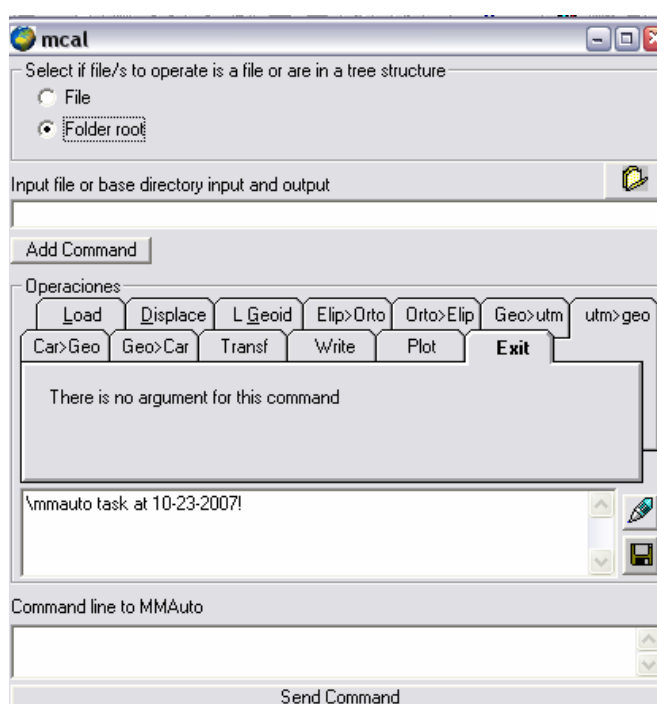


Figura III.10. Ventana para el programa *mcal* con los parámetros de cada función.

### A.III.1.9. Comando externo

La ventana que permite la aplicación de un comando del sistema operativo (“externo”) se presenta en la figura iii.11. En la ventana se presenta el símbolo % que permite al programa *mmauto* interpretar que tiene una nueva instrucción en una secuencia de instrucciones. Haciendo clic en la flecha (W) se introduce la sentencia en la lista de comandos del programa principal.



Figura III.11. Ventana para la introducción de un comando externo.

### A.III.2. FILTER (W/L)

Este programa contiene dos filtros de clasificación de la nube de puntos *LiDAR*. Si se ejecuta directamente se piden los argumentos por pantalla. También admite que se le pasen todos los argumentos por línea de comandos.

El primer filtro es uno de bloque mínimo (ver capítulo 2). Se genera una malla regular con umbral de diferencia altimétrica admisible para cada celda. Éstas se asignan al valor mínimo de elevación de las medidas de la celda y se clasifican como terreno los puntos láser que están dentro del volumen definido en cada nodo por su valor mínimo (en el cuadrado inferior del prisma) y el valor del nodo más el umbral de alturas (cara superior del cuadrado del prisma). Los parámetros necesarios se definen en el epígrafe A.III.2.1.

El segundo de los filtros implementados es el “filtro morfológico progresivo” de Zhang *et al.* [2003]. Éste es un filtro basado en la pendiente, que usa un operador morfológico para determinar un umbral de alturas. Las ventanas usadas varían su tamaño según distintas progresiones definibles por el usuario. Las dos operaciones morfológicas que usa el filtro son la erosión y la dilatación. La formulación de las dos operaciones se presenta a continuación para dos dimensiones:

$$\text{Erosión: } A_{I,J} = \min(B_{I+P,J+Q}) \quad (\text{E. III.1})$$

donde:  $B_{M,N}$  = Modelo Digital de Elevaciones previo a la erosión

$A_{M,N}$  = Modelo Digital de Elevaciones erosionado

$M$  = número de filas del modelo

$N$  = número de columnas del modelo

$I = 1, 2, \dots, M; J = 1, 2, \dots, N$

$P \in [-R : R]$ , con  $R$  como filas de la ventana del filtro

$Q \in [-S : S]$ , con  $S$  como columnas de la ventana de filtro

$$\text{Dilatación: } A_{I,J} = \max(B_{I+P,J+Q}) \quad (\text{E. III.2})$$

donde:  $B_{M,N}$  = Modelo Digital de Elevaciones previo a la dilatación

$A_{M,N}$  = Modelo Digital de Elevaciones dilatado

$M$  = número de filas del modelo

$N$  = número de columnas del modelo

$I = 1, 2, \dots, M; J = 1, 2, \dots, N$

$P \in [-R : R]$ , con  $R < M$  como filas de la ventana del filtro

$Q \in [-S : S]$ , con  $S < N$  como columnas de la ventana de filtro

El filtro usa la combinación de una erosión y una dilatación (apertura) para cada ancho de ventana. La forma usada para la ventana del filtro es cuadrada ( $R=S$ ). Después de aplicar el operador morfológico se define una altura umbral con la pendiente y, con ella y el Modelo Digital de Elevaciones  $B$ , se filtra la nube de puntos para cada ancho de ventana del filtro. Como se ha explicado en el cuerpo de la memoria los objetos eliminados para un ancho de ventana del filtro tienen una de sus dimensiones en planta menor al ancho  $R$ .

#### A.III.2.1. **Secuencia de comando**

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando y además se definen las variables usadas por cada filtro. Las variables deben ser llamadas en el orden que se muestra y del modo en que se detalla en este epígrafe. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. En cursiva se presenta el nombre del programa. Los argumentos van separados por espacios y entre comillas se muestran las cadenas de texto.

*filter* **ifile**="fichero1" **ifile**="fichero2" [**path**="carpeta"] **f**=n [ARGS]

**ifile.** “Fichero1”, “Fichero2”. Todos los ficheros con datos en formato *ASCII* con las coordenadas X, Y, Z. El separador de decimales debe ser el punto; el de columnas pueden ser espacios, tabuladores o comas. El número de ficheros no está limitado. Para la posición en planta se ha usado un real(8) mientras que para la Z se ha usado un real(4).

(**[path=carpeta]**). Argumento opcional. Ruta de salida para los ficheros de salida. Si no se da este argumento la carpeta de salida es la misma que la de entrada.

(**f=n**). Entero. Es el número de filtro a usar. Su valor es 1 o 2. Si vale 1 se usa el filtro morfológico progresivo, mientras que si vale 2 se usa el filtro del bloque mínimo.

**[ARGS]**. Argumentos para cada uno de los filtros. Se describen a continuación a partir del valor de **n**.

**n=1. FILTRO MORFOLÓGICO PROGRESIVO.** El filtro ya se ha descrito en este epígrafe.

**pp=** prefijo para el nombre de los ficheros de salida de puntos. El fichero de salida está compuesto por un prefijo, un sufijo y una cadena de texto intermedia que define cómo se ha clasificado el conjunto de puntos del fichero y que ancho de ventana (en celdas) se ha usado para la clasificación. [**AAAwk**]; AAA puede ser **GND**, para los clasificados como terreno, o **OBJ** para los clasificados como objeto. **k=** tamaño de la ventana usado para filtrar los puntos.

**ps=** sufijo para el nombre de los ficheros de salida de puntos

**xl=** coordenada mínima para el modelo del filtro en el eje X

**xr=** coordenada máxima para el modelo del filtro en el eje X

**yb=** coordenada mínima para el modelo del filtro en el eje Y

**yt=** coordenada máxima para el modelo del filtro en el eje Y

**cs=** tamaño de celda para las dos dimensiones (X, Y)

**iwk=** Modelo de apertura de la ventana de clasificación.

0=modelo lineal. Se expresa como  $Wk=2*k*b+1$

1=modelo exponencial. Se expresa como  $Wk=2*b^{**k}+1$

**b=** base en la fórmula que genera el ancho de ventana **iwk**

**wkm=** máximo tamaño en *pixels* para la ventana del filtro

**s0=** pendiente límite. Entendida como tangente del ángulo de la normal del plano con la vertical

**dh0=** umbral de elevaciones inicial para la clasificación de puntos

**dhm=** umbral de elevaciones máximo para la clasificación de la nube de puntos

[**sm=0/1**] Argumento opcional. 0=no salvar el modelo del filtro, 1=salvar el modelo del filtro

[**mp=**] Argumento opcional. Usar si **sm=1**. Prefijo del nombre del fichero de salida del modelo del filtro

[**ms=**] Argumento opcional. Usar si **sm=1**. Sufijo del nombre del fichero de salida del modelo del filtro

[**si=0/1**] Argumento opcional. 0=no guardar los resultados de clasificación de la nube de puntos intermedios. 1=guardar los resultados intermedios de la clasificación de la nube de puntos

[**c=0/1**] Argumento opcional. 1= comprimir los ficheros de salida, 0= no comprimir los ficheros de salida

**n=2. FILTRO DEL BLOQUE MÍNIMO.** En este filtro (descrito anteriormente en este epígrafe) no se itera y no hay una ventana de filtrado como en el caso anterior. Así el tamaño de la ventana es 0. En los ficheros de salida se añade **w0** en lugar del **wk** usado en el filtro anterior.

**pp=** prefijo para el nombre de los ficheros de salida de puntos

**ps=** sufijo para el nombre de los ficheros de salida de puntos

**xl=** coordenada mínima para el modelo del filtro en el eje X

**xr=** coordenada máxima para el modelo del filtro en el eje X

**yb=** coordenada mínima para el modelo del filtro en el eje Y

**yt=** coordenada máxima para el modelo del filtro en el eje Y

**cs=** tamaño de celda para las dos dimensiones (X, Y)

**dh0=** altura umbral sobre la celda del modelo para clasificar la nube de puntos

[**sm=0/1**] Argumento opcional. 0=no salvar el modelo del filtro, 1=salvar el modelo del filtro

[**mp=**] Argumento opcional. Usar si **sm=1**. Prefijo del nombre del fichero de salida del modelo del filtro

[**ms=**] Argumento opcional. Usar si **sm=1**. Sufijo del nombre del fichero de salida del modelo del filtro

[**c=0/1**] Argumento opcional. 1= comprimir ficheros de salida, 0= no comprimir los ficheros de salida

### A.III.3. FView(W/L)

El programa es un visualizador / editor de textos simple y fácil de usar programado en FORTRAN 77/90. Abre ficheros de gran tamaño (por encima de las 100.000.000 líneas). Permite la extracción de líneas, la búsqueda de cadenas de texto y las operaciones numéricas con columnas. En la ventana de inicio se muestran las siglas de los comandos que se describen a continuación (/ indica la alternativa en argumentos y en negrita si es reconocible por el programa):

**e/E** = (*Exit*). Sale del programa y vuelve a la consola.

**l/L** = (*Load file*). Abre un fichero, lee el número de filas y pone por pantalla las 18 primeras. El fichero no se carga en memoria, sólo se deja abierto para la lectura.

**o/O** = (*Output file*). Crea otro fichero a partir del que se ha abierto. Permite seleccionar cuales son las columnas que se quieren en el nuevo fichero, añadir nuevas columnas y realizar combinaciones de columnas con operaciones matemáticas básicas.

En las sentencias para el fichero de salida las columnas que se quieren imprimir en el fichero de salida deben estar separadas por dos puntos (:). Si el valor contenido en una columna no se ha de modificar, basta con indicar el número de columna (por ejemplo 1:2:3). En este caso se trata la columna como una cadena de texto y se reescribe en el fichero de salida tal y como está en la de entrada. Se recomienda comprobar en el menú (**c=conf.**) que esté seleccionado el separador de columnas correcto del fichero de entrada. Si se quiere añadir una cadena a todas las columnas debe estar precedida por **#**. Si sólo se da este símbolo se añadirá el número de fila.

En el caso de realizar una combinación de columnas cada número de columna debe ir precedido del símbolo (**\$**). En este caso el valor de la columna se tratará como numérico y al imprimirlo en un fichero usará el número de decimales definido en el menú de configuración. El separador de números y operadores es (**|**). Los valores se almacenan con el método de la pila; cada nuevo valor se almacena en el nivel 1 de la pila (**P1**) y los anteriores se almacenan en la posición **Pi+1** para conservar todos los valores (quedan en orden inverso a como se han introducido). Los operadores se aplican así: **P2⊗P1**. En caso de un sólo argumento para la operación se aplican a la **P1** (por ejemplo **abs(P1)**).

Operadores:

Básicos: (**+**)=suma, (**-**)=substracción, (**/**)=división, (**\***)=producto, (**^**) o (**\*\***)=exponente.

Trigonómicas: (**sin**)=seno, (**cos**)=coseno, (**tan**)=tangente, (**asin**)= arco seno, (**acos**)= arco coseno, (**atan**)= arco tangente.

Otros: (**abs**)=valor absoluto, (**sqrt**)=raíz cuadrada, (**log**)=logaritmo natural, (**log10**)=logaritmo base 10, (**swap**)=intercambia los valores **P1** y **P2** en la pila, (**dup**)=duplica el valor de **P1** a **P2**.

**li/LI** = (*Line*). Lleva el editor al número de línea introducido.

**f/F** = (*Find*). Busca en el fichero cargado coincidencias con la cadena de texto de búsqueda. Las líneas con coincidencias se incluyen enteras como resultado. El resultado por defecto se presenta por pantalla. Si se quiere en un fichero se deben incluir los siguientes modificadores:

[**f p/F P**] Busca e imprime. Escribe las líneas con coincidencias por pantalla y en el fichero seleccionado.

[**f u/F U**] Busca e imprime con números de línea. Realiza el mismo resultado que el caso anterior pero añadiendo los números de línea al principio de cada línea.

**p/P** = (*Previous*). Retrocede una página en el editor.

**n/N** = (*Next*). Avanza una página en el editor.

**b/B** = (*Begin*). Retrocede al inicio del fichero visualizando las 18 primeras filas.

**pl/PL** = (*Plot*). Imprime por pantalla el fichero cargado en la posición de lectura en que se encuentre.

- bl/BL**= (*Blank Lines*). Permite eliminar las líneas con el símbolo de comentario (ver **c=conf**.) y guardar el resultado en un nuevo fichero.
- ap/AP**= (*Append*). Añade al fichero cargado otro fichero definido por el usuario en la línea indicada. Si la línea indicada es la 0 el fichero se añade a partir del final del fichero cargado. Se incluye la posibilidad de no añadir las líneas de comentarios (ver **c=conf**.).
- mac/MAC**=(*MAximum of a Column*). Devuelve el máximo valor de una columna por pantalla o en un fichero desde la línea de comando.
- mic/MIC**=(*MIInimum of a Column*). Devuelve el mínimo valor de una columna por pantalla o en un fichero desde la línea de comando.
- mh/MH**=(*Make Histogram*). Realiza el histograma de la columna seleccionada con los límites seleccionados y el ancho del intervalo seleccionado. El resultado se escribe en un fichero con el centro de cada clase y el número de valores de la clase.
- st/ST**=(*make STatistics*). Calcula algunos estadísticos básicos de la columna seleccionada. Devuelve el número de puntos, la media, la desviación típica y el error medio cuadrático. El resultado por defecto es por pantalla. Desde la línea de comando se puede redirigir a un fichero.
- c/C**=(*Configure*). Permite cambiar algunos parámetros de la entrada y salida de ficheros:
- Separador de columnas del fichero de entrada.
  - Carácter para marcar como comentario una línea.
  - Separador de columnas del fichero de salida.
  - Decimales de salida a un fichero de un número que se ha leído como tal y no como una cadena de texto.
  - Unidad de impresión de la información de pantalla. Por defecto la unidad 6 es la de la pantalla. Si se elige otra que no sea 5 (teclado) se creará un fichero fort8 (si se ha escogido 8) con las salidas de la pantalla.

### A.III.3.1. Secuencia de comando

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando. Las variables pueden ser llamadas en cualquier orden. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita se presentan las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en el nombre de los argumentos, en cursiva el nombre del programa, entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

*fview* "Infile" [ARGS]

"Infile" = Ruta completa o relativa del fichero de entrada. En caso de no encontrar o no poder abrir el fichero porque está bloqueado por otra aplicación se informa del error y se pasa al modo manual de entrada del fichero.

[ARGS]. Lista de argumentos con los comandos descritos en el epígrafe anterior.

Argumentos. Se pueden usar consecutivamente separados por espacios.

**(e/E)**. Cierra el programa.

**(o/O ofile="Fichero Salida" sec="secuencia")**. "**Fichero de salida**" es la ruta completa de salida para la salida de datos. "**Secuencia**" es la combinación de columnas a aplicar al fichero de salida. Por ejemplo ("**1:2:\$2|\$1|-**") escribe un fichero con tres columnas. En la tercera para cada fila se resta al valor de la segunda columna el de la primera.

**(ex/EX iline=n1 eline=n2 efile="Fichero de salida")**. **n1** es la línea en el fichero de entrada donde iniciar la extracción, **n2** la línea final de la extracción en el fichero de entrada. El "**Fichero de Salida**" es la ruta completa/relativa al fichero donde se guardan las líneas extraídas.

**(ap/AP appfile="Fichero de entrada" appofile="Fichero de salida" iniline=n1 remcomm=L1)**. "**Fichero de entrada**" es el fichero que se quiere añadir al fichero ya abierto, "**Fichero de Salida**" es donde se va a grabar el resultado de fusionar los dos ficheros, **n1** la línea en el fichero abierto donde insertar el "**Fichero de Entrada**" (si se

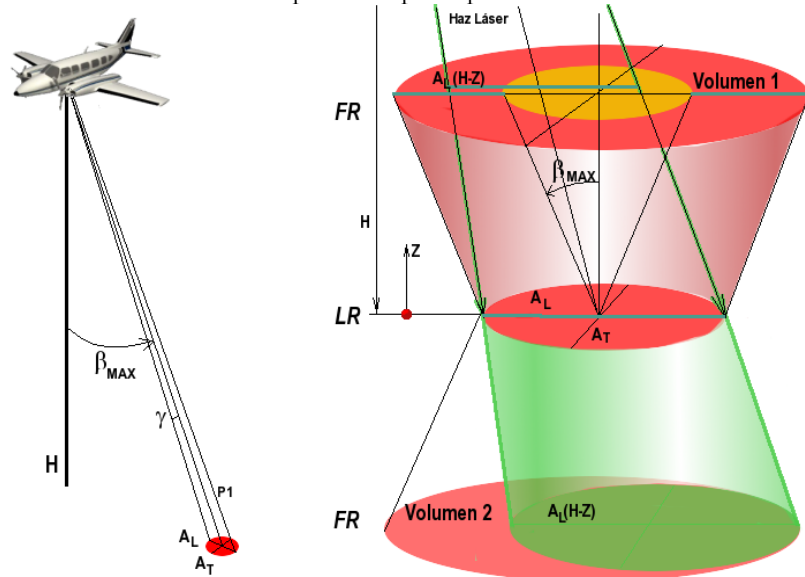


introduce un 0 se añade al final del fichero abierto), y **L1** puede ser (.true./ .false.) y sirve para eliminar las líneas de comentarios en el fichero que se está insertando.

- (**bl/BL file**="Fichero de Salida" **inline**=**n1**). Elimina del fichero cargado en memoria todas las líneas de comentarios. "Fichero de Salida" es el fichero donde se van a escribir los resultados, y **n1** es la línea a partir de la cuál se quiere eliminar los comentarios.
- (**mac/MAC col**=**n1** [**file**="Fichero Salida"] ). Busca el máximo de una columna. (**n1**) es la columna en que buscar el máximo. Como argumento opcional se puede dar un "Fichero de Salida" para guardar el resultado en un fichero. Si no se da este argumento se da por pantalla el resultado.
- (**mic/MIC col**=**n1** [**file**="Fichero de Salida"] ). Busca el mínimo de una columna (**n1**). Las variables son las mismas que las del apartado anterior.
- (**mh/MH col**=**n1** **file**="Fichero de Salida" **int**=**r1** [**zmin**=**r2**] ). Realiza el histograma para una columna dada (**n1**). "Fichero de Salida" es el fichero donde se guardan los valores del histograma, **r1** es un número real con el tamaño de una clase. El argumento opcional **r2** define el número mínimo a partir del cuál se construyen las clases. Si no se da, se usan las funciones **mic** y **mac** para definir los límites del histograma.
- (**st/ST col**=**n1** [**file**="Fichero de Salida"] ). Realiza una estadística básica de una columna (**n1**) dada. Da el número de puntos, la media, la desviación típica y el error medio cuadrático. El argumento opcional "Fichero de Salida" define donde se van a imprimir los resultados, si no se da el resultado sale por pantalla.
- (**c/C** [**csep**=**A** **cblank**=**B** **osep**=**C** **dec**=**n1** **iu**=**n2**] ). Debe incluirse al menos uno de los argumentos opcionales. **A** es el carácter separador para las columnas del fichero de entrada, **B** es el carácter de la primera columna para considerar la línea como de comentarios, **C** es el carácter separador de columnas del fichero de salida, **n1** es el número de decimales para las columnas que se imprimen en un fichero de salida y que han sido consideradas como números, y por último **n2** es la unidad de salida de pantalla (es 6 por defecto y si se redirige a cualquier otra que no sea 5 se escribe un fichero **fortn2** con la información).

#### A.III.4. LsRetPair(W/L)

El programa permite aparejar los puntos de un mismo pulso en un sólo fichero. Para ello se identifica cuál es el fichero con los últimos pulsos y estableciendo un volumen de búsqueda se localizan los puntos de los otros grupos de puntos que están dentro de este volumen. En caso de haber más de un punto del mismo grupo se escoge el más cercano al anterior dentro del mismo pulso. El principio de detección se muestra en la figura iii.12.



**Figura III.12.** Principio de establecimiento del volumen de búsqueda para la detección de retornos partiendo del último ( $H$ =altura de vuelo,  $\gamma$ =divergencia,  $A_L$  y  $A_T$ =diámetro huella longitudinal y transversal,  $\beta_{MAX}$ =ángulo escaneado máximo,  $LR$ =último retorno, y  $FR$ =primer retorno).

En la figura se muestra el ancho de la huella longitudinal ( $A_L$ ) y transversal ( $A_T$ ). El volumen se define con estos dos parámetros y el ángulo de apertura máximo ( $\beta_{MAX}$ ). Además se define una altura máxima de búsqueda para aparejar los retornos.

Otra de las operaciones que puede realizar el programa es desaparecer los retornos de un mismo pulso. En los ficheros los datos deben ordenarse por columnas. El último retorno debe ser el primero, el primero en segundo y el resto ocupando el resto de columnas consecutivamente. En este caso se generan ficheros con el mismo nombre que el de entrada con la extensión **RT.n** donde n es el número de retorno siendo 0 el último.

#### A.III.4.1. Secuencia de comando

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando. Las variables sólo pueden ser llamadas en el orden establecido. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en el nombre de los argumentos. En cursiva el nombre del programa. Entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

*lsretpair* “Fichero LR” “Fichero FR” [“Fichero retorno 2”] [“Fichero retorno n”] [-ac **nplane**=Vx,Vy,Vz  
**beta**=ángulo **h**=hx,hy,hz **IFOV**=divergencia] [-o [-c] “Fichero Salida”]

(“Fichero LR”). Fichero *ASCII* del último retorno con las coordenadas X, Y, Z de cada punto en una línea separados por comas, espacios o tabuladores. El fichero puede estar comprimido con *gzip*. En este caso tiene la extensión \*.GZ y es detectado por el programa, que los descomprime, los lee y una vez leídos los vuelve a comprimir. Si sólo se da un fichero de entrada el programa entiende que debe desaparecerlo y busca el número de columnas, sin requerir más información de la salida (-o....).

(“Fichero FR”). Fichero *ASCII* del primer retorno con las mismas características que el anterior.

(“Fichero nR”). Fichero *ASCII* con las mismas características que el primer fichero descrito para el retorno n, siendo n+1 retornos los medidos.

(-ac). Secuencia que indica que se van a dar los parámetros necesarios para el programa. Si no se incluye la secuencia el programa pasa a ejecutarse en modo manual y pide los parámetros por pantalla.

(**nplane**=Vx,Vy,Vz). Vector normal unitario del plano general que se está escaneando. Generalmente 0,0,1 (plano horizontal)

(**beta**=ángulo). Semi-ángulo máximo de escaneado del sensor láser en grados sexagesimales.

(**h**=hx,hy,hz). Vector del centro óptico del sensor láser al nadir “general” de las pasadas del levantamiento (p.ej. si H=1000m y se escanea desde un avión el terreno **h**=(0,0,1000)).

(**IFOV**=valor). Divergencia en mrad. Necesario para el cálculo de la huella para cada punto del último retorno y determinar el volumen de búsqueda.

(-o). Secuencia que indica que la información del fichero de salida va a continuación. Si se excluye toda la secuencia el programa pasa a modo manual y pide el fichero de salida por pantalla.

([-c]). Indica que el fichero de salida debe comprimirse. Se usa el compresor GZIP que debe estar instalado en el sistema.

(“Fichero Salida”). Cadena de texto con el nombre completo/relativo del fichero de salida.

Así la secuencia de comandos: (*lsretpair* a.dat b.dat -ac **nplane**=0,0,1 **beta**=20 **h**=0,0,650 **IFOV**=0.3 -o -c c.dat) lee los ficheros “a.dat” y “b.dat”, entiende que el último fichero es del primer retorno, que el plano escaneado es horizontal, con un semi-ángulo máximo de 20° a una altura de 650m y con un ángulo de divergencia de 0.3mrad. El resultado se escribe en el fichero “c.dat” y se comprime con *gzip* al cerrar el fichero.

### A.III.5. MGLEC(W/L)

El programa realizado en FORTRAN 77/90 permite distintos cambios de formato entre un listado de coordenadas en formato *ASCII* y distintos tipo de modelos digitales.

#### FORMATOS DE ENTRADA DE DATOS:

- Fichero XYZ. Fichero *ASCII* con las coordenadas X, Y, Z para cada punto. Las columnas deben ir en ese orden y separadas por comas, espacios o tabuladores.
- Modelo. Se reconocen tres tipos de formatos de Modelos Digitales. En primer lugar el formato HDR en *ASCII*. Este formato es el usado por el programa *3DEM* (Richard [2004]). Se reconocen coordenadas en Latitud/Longitud, *X/Y UTM*, o *x/y* locales. El segundo formato es el que reconoce *ARCVIEW* como Modelo Digital. Éste usa como punto base el centro del nodo más al Oeste y al Norte. El tercer formato es genérico y usa la misma cabecera, permitiendo usar cualquiera de las cuatro esquinas como punto base indicando como están ordenados los nodos en las direcciones Norte – Sur y Oeste-Este.

#### FORMATOS DE SALIDA DE DATOS:

- 0. XYZ. Este formato de salida convierte el Modelo en un listado de coordenadas X,Y,Z en formato *ASCII*. Se puede decidir el orden de las columnas en el formato de salida.
- 1. NXYZ. El formato es similar al anterior pero se permite insertar además un nombre para todos los puntos en la primera columna y otra cadena de texto a partir de la última columna.
- 2. GR3. Formato para el programa de visualización de sólidos en 3D *GR3Viewer* (sin uso).
- 3. GR3. Formato para ver una superficie con el formato GR3 (sin uso).
- 4. Mensi. Este formato genera un fichero *ASCII* con las coordenadas X, Y, Z con un valor para escalar la Z y poder ver la nube de puntos en escala de color. *MENSI* es un visualizador gratuito para ver nubes de puntos realizado para aplicaciones *LiDAR* terrestres.
- 5. HDR. Este formato produce un fichero HDR con la información de georeferenciación y otro con extensión TXT con los nodos del modelo. Cuando el programa pide el nombre del fichero debe darse el del HDR. Este formato es leído por el programa de distribución gratuita *3DEM*.
- 6. ArcView. Éste genera un fichero *ASCII* con un formato de modelo que reconoce el programa de *ESRI ArcView*. El formato de este fichero se resume a continuación:

NCOLS	3	[Nodos en la dirección X]
NROWS	2	[Nodos en la dirección Y]
XLLCENTER	484574.000000	[Coordenada X del centro del nodo oeste-norte]
YLLCENTER	4649536.000000	[Coordenada Y del centro del nodo oeste-norte]
CELLSIZE	1.000000	[tamaño de celda para X e Y]
NODATA_VALUE	-9999	[valor nulo para un nodo]
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		– [Datos].

#### A.III.5.1. Secuencia de comando

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando. Las variables sólo pueden ser llamadas en el orden establecido. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita se presentan las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en los argumentos, en cursiva el nombre del programa, entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

*mglec* [ENTRADA ARGS] [SALIDA ARGS]

##### ENTRADA ARGS

([-p] -g/-a “Fichero Entrada” ([-dXY] [-bp XX YY]) / (NL Xmin Xmax Ymin Ymax XC YC NV OCrit) )

- ([**-p**]). Argumento opcional. Si está presente este argumento los mensajes de pantalla se redirigen a la unidad 99 (en lugar de la 6) y se escriben en un fichero llamado “fort99”.
- ([**-g/-a**]). Argumento opcional. En caso de ser **-g** se está indicando que el fichero que se está introduciendo es un modelo. En el caso que se introduzca **-a** se indica que el fichero que se introduce es un fichero XYZ.
- “Fichero de Entrada”. Ruta completa del fichero de entrada. Si el fichero contiene caracteres especiales o espacios debe ir entre dobles comillas.
- (**-dXY**). Argumento opcional. Usar sólo si se ha usado **-g**. Este argumento es necesario si se usa el tercer modelo descrito en este epígrafe. El valor **X** debe ser **N** o **S** (N significa que los datos están ordenados de Norte a Sur y S significa que los datos están ordenados de Sur a Norte) y el valor **Y** debe ser **W** o **E** (W significa que los datos están ordenados de Oeste a Este y E lo contrario).
- (**-bp XX YY**). El primer indicador **-bp** indica que se va a dar el punto base. Usar sólo si se ha usado **-g**. Éste comando sólo es necesario en el caso del tercer tipo de modelo descrito. XX puede ser **left** o **right** para indicar que es al Oeste (*left*) o al Este (*right*). YY puede ser **down** o **top** para indicar que el punto base está al Sur (*down*) o al Norte (*top*).
- (NL). Usar sólo si se ha usado **-a**. Cadena de texto de tamaño 1 con el carácter que si se encuentra en la primera columna se considera que es una línea de comentarios.
- (Xmin Xmax Ymin YMax). Usar sólo si se ha usado **-a**. Límites del modelo que se genera a partir del conjunto de datos X,Y,Z que se han dado en el fichero de entrada.
- (XC YC). Usar sólo si se ha usado **-a**. Tamaño de celda en las direcciones X (XC) e Y (YC).
- (NV). Usar sólo si se ha usado **-a**. Valor a usar como nulo en el modelo que se genera con los datos XYZ leídos.
- (OCrit). Usar sólo si se ha usado **-a**. Valor entero con el criterio para asignar un valor a un nodo del modelo cuando más de un punto están dentro de él. Vale 1 cuando se preserva la mínima elevación, 2 cuando se preserva la máxima, 3 cuando es la mínima en valor absoluto y 4 cuando es la máxima en valor absoluto.

## SALIDA ARGS

(**-o** “Fichero Salida” n s(n) )

- (**-o**). Indicador de los parámetros de salida del programa.
- “Fichero Salida”. Cadena de texto con la ruta completa del fichero de salida. Si contiene espacios o caracteres especiales debe ir entre dobles comillas.
- (n). Número de formato de salida coincidente con los ya descritos. A continuación se definen los argumentos opcionales **s(n)** para cada formato **n**:
  - n=0 → (**-cabc d1 d2 d3 “s”**)
    - (**-c**). Indicador que a continuación se da el orden de las columnas en el fichero de salida.
    - (a). Número de columna a imprimir en la primera columna del fichero de salida (X=1, Y=2, Z=3).
    - (b). Número de columna a imprimir en la segunda columna del fichero de salida (X=1, Y=2, Z=3).
    - (c). Número de columna a imprimir en la tercera columna del fichero de salida (X=1, Y=2, Z=3).
    - (d1). Número de decimales para la columna 1 del fichero de salida.
    - (d2). Número de decimales para la columna 2 del fichero de salida.
    - (d3). Número de decimales para la columna 3 del fichero de salida.
    - (“s”). Carácter que se usa en el fichero de salida para separar las columnas.
  - n=1 → (**-cabc d1 d2 d3 “s” “nombre” “ext”**)

- (“nombre”). Cadena de texto a usar como nombre de los puntos.
- (“ext”). Cadena de texto que se sitúa a partir de la última columna.
- n=4 → (zdist)
  - zdist. Tamaño de clase para la paleta.
- n=5 → (MP [Huso] zdec xydec)
  - (MP). Tipo de coordenadas. 0=Coordenadas *UTM*, 1=latitud/longitud, 2=coordenadas *x, y* locales.
  - ([Huso]). Número de huso de la proyección *UTM*. Sólo se debe dar este valor si **MP**=0.
  - (zdec). Número de decimales de la coordenada *Z* en la matriz de elevaciones.
  - (xydec). Número de decimales de las coordenadas *X* e *Y*.
- n=6 → (cz nl zdec)
  - (cz). Tamaño de celda del modelo de salida para las direcciones *X* e *Y*.
  - (nl). Valor nulo para las celdas sin puntos. Usualmente -9999
  - (zdec). Posiciones decimales para la coordenada *Z* de la matriz de elevaciones.

### A.III.6. MMAuto(W/L)

El programa realizado en FORTRAN 77/90 es el motor de la aplicación VBAUTO; ejecuta el resto de programas sobre un árbol de directorios y sobre ficheros. Además, con la sintaxis adecuada, se puede ejecutar cualquier programa que se encuentre en la lista de “path” del sistema operativo en que se encuentre. El programa requiere la presencia del programa “pMGetDirList.exe” para leer las carpetas de un directorio (en Linux funciona con *wine*).

Así en la sintaxis hay tres instrucciones básicas. La primera se aplica para un árbol de directorios, la segunda a un conjunto de ficheros, y la última es un comando de sistema que no va aplicado a algún fichero. Éstos se describen extensamente en el siguiente epígrafe.

#### A.III.6.1. Secuencia de comando

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando. Las variables sólo pueden ser llamadas en el orden establecido. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita se presentan las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en los argumento, en cursiva el nombre del programa, entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

##### • DIRECTORIOS

*mmauto* %**d/D**?”Directorio de trabajo”?”Nombre del proyecto”?”comando”

- (%). Carácter que indica que se inicia una instrucción para el programa *mmauto*
- (d/D). Indica que se va a trabajar sobre un conjunto de directorios
- (?). Carácter separador de bloques de sentencias
- “Directorio de trabajo”. Cadena de texto con el directorio raíz sobre el que cuelga el árbol de directorios que se va a procesar de forma secuencial
- “Nombre del proyecto”. Nombre del fichero de extensión \*.LST que genera el programa *pMGetDirList.exe* con todos los directorios que están en el directorio “**Directorio de trabajo**”. El nombre de cada uno de los ficheros leídos puede ser usado como se mostrará a continuación
- “comando”. Contiene una cadena de texto con instrucciones para ejecutar cualquiera de los programas de este anejo



## COMENTARIOS:

Para que la secuencia de comandos sea adaptable y permita trabajar al mismo comando sobre todo un conjunto de carpetas se han definido un conjunto de caracteres especiales:

- (#). Permite sustituir este carácter por la cadena de texto “Directorio de trabajo”. Esta función permite a los programas que se han incluido en la cadena de texto “Comando” adaptarse cuando se cambian de lugar, cambiando sólo la cadena “Directorio de trabajo”.
- (@). Se sustituye en la cadena de texto “comando” por la carpeta analizada en cada momento. Esto permite usar el nombre de la carpeta y acceder a cada uno de los ficheros de cada carpeta.
- (@A!n). Permite acceder sólo a una parte del nombre de la carpeta y con posteriores funciones convertirlas en expresiones numéricas. (A) es el carácter separador de columna dentro de la cadena de texto con el nombre de la carpeta (@), y (n) es la columna a extraer usando el carácter A como separador de columnas. La subcadena extraída se interpreta como un número y se almacena en una pila de un solo nivel para que se le puedan aplicar operaciones matemáticas.
- (@n). Donde ⊗ son las operaciones permitidas: (+) sumar, (-) restar, (\*) multiplicar, (/) dividir. n es el segundo número que se opera con el guardado en la pila. El resultado se guarda en la pila. Cada operación debe ir entre paréntesis.
- (J). Imprime el valor numérico presente en la pila y lo escribe como un número entero en la cadena de texto “comando” sustituyendo a todo el conjunto de operaciones matemáticas.

Así por ejemplo la secuencia para el programa *mesh\_grid*:

```
"%d?H:\OUT\?New_Project?mesh_grid ifile=#@\DTM_@.TRI
ofile=#@\DTM_@.GRI xl=@_!1>(*1000)[ xr=@_!1>(*1000)(+1000)[
yd=@_!2>(*1000)[ yt=@_!2>(*1000)(+1000)[ xc=2 yc=2 xdec=2 ydec=2 zdec=2"
```

Produce para la carpeta “740\_4092” el comando que sale del interpretador y se ejecuta:

```
"%d?H:\OUT\?New_Project?mesh_grid
ifile=H:\OUT\740_4092\DTM_740_4092.TRI
ofile=H:\OUT\740_4092\DTM_740_4092.GRI xl=740000 xr=741000 yd=4092
yt=4093 xc=2 yc=2 xdec=2 ydec=2 zdec=2"
```

- FICHEROS

*mmauto* %f/F?“Directorio de trabajo”?“comando”

- (%). Carácter que indica que se inicia una instrucción para el programa *mmauto*
- (f/F). Indica que se va a aplicar sólo a un conjunto de ficheros con la raíz de la variable “Directorio de trabajo”
- (?). Carácter separador de bloques de sentencias
- “Directorio de trabajo”. Cadena de texto con el directorio raíz sobre el que cuelga el árbol de directorios que se va a procesar de forma secuencial.
- “comando”. Contiene una cadena de texto con instrucciones para ejecutar cualquiera de los programas de este anejo

Así por ejemplo la secuencia para el programa *mmosac*:

```
"%f?H:\OUT\?mmosac.exe #mm-divide-in.mmo #mm-divide-out.mmo"
```

Produce como resultado:

```
"%f?H:\OUT\?mmosac.exe H:\OUT\mm-divide-in.mmo H:\OUT\mm-divide-out.mmo"
```

- COMANDOS EXTERNOS

*mmauto* %o?“comando”

- (%). Carácter que indica que se inicia una instrucción para el programa *mmanto*
- “comando”. Cadena de texto con un comando externo. Como por ejemplo comprimir a partir de la carpeta de trabajo, o dar por pantalla la lista de ficheros (**dir** para Windows o **ls** en Linux).

### A.III.7. MCal (W/L)

El programa *mcal* es una herramienta realizada en FORTRAN 77/90 especialmente pensada para el tratamiento de coordenadas en el Proyecto MADRE (explicado en la memoria). Sus funciones básicas son la conversión a/desde coordenadas *UTM* (*Universal Transversa Mercator*) desde/hacia coordenadas Geográficas sea cual sea el elipsoide de trabajo. También es capaz de pasar de coordenadas geográficas a cartesianas y viceversa. Además es capaz de pasar de cotas ortométricas a elipsoidales y viceversa si se le proporciona un modelo geoidal con los valores de **N** como elevación, aplicar traslaciones y todo tipo de transformaciones.

También se puede ejecutar de forma automática, cosa que permite utilizar de forma secuencial y mecánica las funciones del programa a un fichero de datos.

Ficheros necesarios:     *mcal* – ejecutable.  
                                   *datums.dat* – contiene las definiciones de elipsoides.  
                                   *loc\_adj.dat* – contiene los parámetros de cada ajuste local introducido.  
                                   *taskfile.dat* – tareas preprogramadas que permiten ejecutar tareas usuales en el proyecto en Doñana.  
                                   *transf.dat* – fichero que contiene todas las transformaciones para cambiar de datum.

\*Visualización:

*GNUPlot* – Requerido para visualizar los datos.  
*vb2GNUPlot.exe* – programa en Visual Basic que envía instrucciones a *gnuplot*.  
 (W).  
*gnuplot.pth* – fichero de texto con la ruta al ejecutable de *gnuplot*.

#### A.III.7.1. Funciones principales

Las funciones tal como de ve en la figura iii.13 son:

- (0). Seleccionar una tarea preprogramada.
- (1). Cargar un fichero en memoria.
- (2). Aplicar un desplazamiento al fichero cargado en memoria.
- (3). Exportar el fichero en memoria al formato de intercambio 80.
- (4). Cargar un fichero con un modelo geoidal en memoria.
  - (41). Cargar un ajuste local sobre el modelo geoidal.
- (5). Convertir las cotas de elipsoidales a ortométricas.
- (6). Convertir las cotas de ortométricas a elipsoidales.
- (7). Convertir el fichero cargado en la memoria de coordenadas Geográficas a *UTM* en cualquier elipsoide (dando el semieje mayor y el aplanamiento).
  - (71). Conversión a *UTM* indicando el huso desde coordenadas Geográficas.
- (8). Convertir el fichero cargado en la memoria de coordenadas *UTM* a Geográficas en cualquier elipsoide (dando el semieje mayor y el aplanamiento).
- (9). Convierte el fichero cargado en memoria de coordenadas Cartográficas a Geográficas dándole el elipsoide sobre el cual hacer la transformación.
- (10). Convierte el fichero cargado en memoria de coordenadas Geográficas a Cartográficas dándole el elipsoide sobre el cual hacer la transformación.

- (11). Aplica una transformación al fichero cargado en memoria. Esta función se usa para cambios de datum.
- (12). Graba a un fichero las coordenadas cargadas en memoria con el mismo nombre que el fichero de datos, pero con extensión \*.res.
- (13). Sale de la aplicación.
- (14). Representa los puntos en 3D usando el programa de distribución gratuita *gnuplot*.
  - (140). Representar las coordenadas útiles sin etiquetas.
  - (141). Función 140 con las etiquetas de cada punto (hasta 150).
  - (142). Función 140 con una etiqueta para el primer punto.
  - (143). Representar todos los puntos del fichero de datos.
  - (144). Función 143 con etiquetas de cada punto (hasta 150).
  - (145). Función 143 con una etiqueta para el primer punto.

```

*****
*PROGRAM MADRE_CAL v1.0 2003 * UPC - DETCG *
*****

STATUS MENU:<FILE      >

                <GEOID    >
                FORMAT:

MAIN MENU:
0.SELECT/LOAD A TASK - FILE
1.LOAD A FILE ON MEMORY
2.APPLY A DISPLACEMENT TO MEMORY FILE
3.EXPORT MEMORY FILE TO *80* FORMAT
4.LOAD A GEOID GRID FILE
41.LOAD A LOCAL ADJUST OF GEOID
5.CONVERT HEIGHT FROM ELIPSOIDAL TO ORTHOMETRIC
6.CONVERT HEIGHT FROM ORTHOMETRIC TO ELIPSOIDAL
7.CONVERT MEM FILE FROM GEOGRAFIC TO UTM
8.CONVERT MEM FILE FROM UTM TO GEOGRAFIC
9.CONVERT MEM FILE FROM CAR TO GEO
10.CONVERT MEM FILE FROM GEO TO CAR
11.APPLY TRANSFORM TO MEMORY FILE
12.EXPORT RECORDS TO FILE <INPUT FILE.RES>
13.QUIT
14.PLOT DATA
TYPE AN ANSWER: _

```

Figura III.13. Pantalla inicial del programa *madre.exe* con las funciones principales.

El programa informa a través de la pantalla principal de cuál es el estado en la sección “*STATUS MENU*” (figura iii.14). En primer lugar el fichero cargado en memoria en el formato que se explica en el siguiente epígrafe. En la siguiente línea el formato actual de los datos cargados en memoria; geográficas / UTM / cartográficas, elipsoidales / ortométricas, el número de puntos (*REC*) y su elipsoide.

```

STATUS MENU:<FILE D:\Fitxers\Programes\Madre_CAL\v1.0\data\v_don.txt>
Coordinates GEO Height ELIPS REC:61 WGS84
<GEOID D:\F..mes\Madre_CAL\v1.0\binary\geoid\espana\ibergeo96.gri>
FORMAT: WGS84

MAIN MENU:
0.SELECT/LOAD A TASK - FILE
1.LOAD A FILE ON MEMORY
2.APPLY A DISPLACEMENT TO MEMORY FILE
3.EXPORT MEMORY FILE TO *80* FORMAT
4.LOAD A GEOID GRID FILE
41.LOAD A LOCAL ADJUST OF GEOID
5.CONVERT HEIGHT FROM ELIPSOIDAL TO ORTHOMETRIC
6.CONVERT HEIGHT FROM ORTHOMETRIC TO ELIPSOIDAL
7.CONVERT MEM FILE FROM GEOGRAFIC TO UTM
8.CONVERT MEM FILE FROM UTM TO GEOGRAFIC
9.CONVERT MEM FILE FROM CAR TO GEO
10.CONVERT MEM FILE FROM GEO TO CAR
11.APPLY TRANSFORM TO MEMORY FILE
12.EXPORT RECORDS TO FILE <INPUT FILE.RES>
13.QUIT
14.PLOT DATA
TYPE AN ANSWER:

```

Figura III.14. Ventana del programa *mcu* en donde se muestran los menús de estado con su información básica.

En la tercera línea se informa del fichero con el modelo de geoide; también entre paréntesis. Como en el caso anterior también se informa de su formato (geográficas, *UTM*) y de su datum.

- **Función 1: Cargar un fichero en memoria**

La función permite cargar un fichero con coordenadas en el programa. Éste debe estar en formato *ASCII* y tener al menos cuatro columnas separadas por espacios, comas o tabuladores. Actualmente cada punto almacenado en memoria ocupa 64bytes. Así para 3.5Millones de puntos se requieren 213MB de memoria *RAM*.

Si los datos están en latitud y longitud las columnas deben ser: nombre del punto, latitud, longitud y elevación. En el caso de coordenadas *UTM* la quinta columna es el huso (la segunda *x* y la tercera *y*).

El convenio de signos es el siguiente:

- Latitudes en grados sexagesimales. Positivas en el hemisferio norte y negativas para el sur.
- Longitudes en grados sexagesimales. Positivas en el sentido contrario a las agujas del reloj; de 0 a 360 (internamente las negativas se transforman y las mayores a 360° se comprueban y corrigen automáticamente).
- *X* en metros. Creciente hacia el este.
- *Y* en metros. Creciente hacia el norte.
- Huso. Positivo en el hemisferio norte y negativo en el sur.

Tanto las latitudes como las longitudes pueden ser expresadas en grados con decimales o en el formato grados, minutos y segundos. Éste último formato se expresa del siguiente modo:

GG°MM'SS.SSSS"D

GG = grados sin ningún formato en concreto. Solo debe tener el símbolo ° (*ASCII* – número 248) al final.

MM = minutos con una o dos posiciones, siempre con el carácter ' (*ASCII* – número 39) al final.

SS.sssss = segundos con un número indeterminado de decimales, siempre acompañado del carácter " (*ASCII* – número 34) al final.

(D) = [OPCIONAL] Si no se ha especificado ningún signo en los grados cualquiera de los siguientes caracteres: N, n, S, s, E, e, O, o, W, w.

Si se incluye el carácter # en la primera columna la línea es considerada como de comentarios. Estas líneas deben estar antes del bloque con los puntos.

Antes de este bloque de puntos puede incluirse una cabecera que permite al programa saber el tipo de coordenadas, su elipsoide y el tipo de altura. Estas líneas pueden ir con el carácter comodín # en la primera columna y ser leídas. Si no se incluye esta cabecera el programa pide por pantalla estos valores.

El formato de estas tres líneas es:

#Type\_File=**n**!Comentarios.

#Datum=**DAT**!Comentarios.

#Type\_Height=**i**!Comentarios.

donde:

**n**=1 si el formato es latitud/longitud; **n**=0 si el formato es *X/Y*; y **n**=2 si las coordenadas son geocéntricas o cartográficas.

**DAT** es el nombre del elipsoide presente en el fichero "datums.dat". Por ejemplo *WGS84* o *ED50*.

**i**=0 cuando las coordenadas son elipsoidales y **1** cuando son ortométricas.

- Función 2: Aplicar un desplazamiento al fichero cargado en memoria

La función permite desplazar en bloque las tres coordenadas del fichero cargado en memoria. Hay dos modos de insertar el vector de desplazamiento. El primero es introducir directamente las tres componentes del vector. El segundo es introducir cuál deberían ser las nuevas coordenadas del primer punto de la lista.

- Función 3: Exportar el fichero en memoria al formato de intercambio 80.

El fichero exportado tiene el mismo nombre que el de datos con la extensión 080. Éste es un formato rígido para la escritura de resultados usados por el *USGS*.

- Función 4: Cargar un fichero con un modelo geoidal en memoria.

La función pide en primer lugar el fichero con el modelo. Cada nodo del modelo se guarda en *8bytes*. Actualmente se ha restringido su tamaño máximo a 4000x4000 nodos (122MB), pero con ordenadores de mayor capacidad se puede variar este valor (se debe recompilar el código).

Los formatos admisibles son:

- **Formato 1: *Grid* regular.**

```
0                !Primero la Latitud menor y la longitud menor hasta la mayor
WGS84           !elipsoide de las coordenadas
21 15           !número de nodos para la Latitud y la Longitud
36.7, 353.5, 46.4962693529915  !Latitud,Longitud,N
36.7, 353.525, 46.4416315896459
```

- **Formato 2: *Iberge* 96**

```
35.000000    45.000000    -10.500000    5.500000    0.019569    0.031311
[Lat. Menor  Lat. Mayor   Lon. Menor   Lat.mayor   Incremento Lat.  Incr.Lon.]
N1           N2           N3           N4           N5           N6           N7           N8
```

Siendo *Ni* los valores del emparrillado distribuidos por filas en ocho columnas siendo *N1* el valor de mayor latitud y menor longitud y aumentando esta última en *N2*.

- **Formato 3: *Grid* no ordenado.**

Se desconocen tanto los límites del emparrillado como el número de nodos. Los nodos vacíos al finalizar se asignan al valor dado como nulo. Hay dos modos de introducir una cabecera:

**a.** Se incluye en el principio del fichero la siguiente cabecera.

```
#Cabecera                ( no incluir esta línea)
1                          ! IFORMAT
ED50                      ! ELIPSOID
2.D0                      ! INTLAT
2.D0                      ! INTLON
-9999                     ! NULLVALUE
#Datos                    ( no incluir esta línea)
Latitud, Longitud, N
```

**b.** Se adjunta un fichero con el mismo nombre que el que contiene los datos con la extensión \*.GMC. El formato resultante es el siguiente:

```
File.dat                !nombre del fichero con los puntos
1                      !IFORMAT Formato tipo de datos
ED50                   ! ELIPSOID
2.D0                   ! INTLAT
2.D0                   ! INTLON
-9999                  ! NULLVALUE
```



- Función 41: Cargar un ajuste local.

La función permite aplicar ajustes locales al geoide cargado con la función anterior. La función que genera las correcciones es la siguiente:

$$N_{\text{CORRECIÓN}} = A1 * (\varphi - \varphi_0) + A2 * \cos \varphi_0 * (\lambda - \lambda_0) + A3 \quad (\text{E. III.3})$$

donde:  $A1, A2, A3$  son los parámetros del ajuste.

$\lambda$  y  $\varphi$  la Longitud y Latitud en el punto en que se quiere calcular el ajuste

$\lambda_0$  y  $\varphi_0$  la Longitud y latitudes centrales de calculo del ajuste

Los parámetros de cada ajuste están en el fichero "loc\_adj.dat". El número máximo de ajustes en el fichero es de 50. El formato para cada uno de los ajustes es el siguiente (los comentarios van precedidos de ! y \* es un espacio):

\Ajuste Local	!Nombre del ajuste
*36.7 37.2	!Latitud mínima y máxima
*353.5 353.85	!Longitud mínima y máxima
*A1	
*A2	
*A3	
* $\varphi_0$	len grados sexagesimales de (E. III.3)
* $\lambda_0$	len grados sexagesimales (E. III.3).

Los valores de latitudes y longitudes máximas y mínimas definen la ventana en que son aplicables los parámetros del ajuste local.

- Función 5: Convertir cotas elipsoidales a ortométricas

La función convierte las cotas elipsoidales del fichero a ortométricas usando el modelo geoidal cargado en memoria. En primer lugar comprueba que los datos en memoria tienen la cota elipsoidal. Después usa el modelo geoidal cargado en memoria para calcular el valor  $N$  para cada punto que se resta de la cota en memoria. Para la determinación de  $N$  se usa una interpolación bilineal debido a la "suavidad" de los modelos geoidales. La expresión para los cuatro nodos que definen el cuadrilátero en que está el punto es:

$$Z = Z_1 + (Z_2 - Z_1) \bar{X} + (Z_3 - Z_1) \bar{Y} + (Z_1 - Z_3 + Z_4 - Z_2) \bar{X} \cdot \bar{Y} \quad (\text{E. III.4})$$

en donde:

$$\bar{X} = \frac{X - X_1}{cx}$$

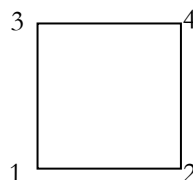
$$\bar{Y} = \frac{Y - Y_1}{cy}$$

$X, Y$  = coordenadas del punto

$X_i, Y_i, Z_i$  = coordenadas del nodo del modelo  $i$  que contienen  $X, Y$   
( $i=1,2,3,4$ )

$cx$  = ancho de malla en la dirección  $X$

$cy$  = ancho de malla en la dirección  $Y$



Si se produce un error en la interpolación el código de error se introduce en la cota del punto. Se le añaden cifras con el signo negativo por encima del sexto dígito. La cota original se conserva en el resto de dígitos y por tanto si se aplica la operación contraria se recupera la cota original. Según los números negativos el programa interpreta que el punto está fuera del modelo geoidal, o de un ajuste local, o alguno de sus nodos tiene valor. Si se da alguno de estos casos se genera un fichero con la extensión \*.ERR y el mismo nombre que el

fichero original con los puntos indicando los límites del modelo geoidal, el nombre del punto, su  $X$ /latitud, su  $Y$ /longitud y cadena de texto con la descripción del error. Por pantalla se indica que se ha generado el fichero de error.

- Función 6: Convertir cotas ortométricas a elipsoidales

Ésta es la función inversa de la anterior. Tiene las mismas condiciones y funcionamiento que la descrita en el epígrafe anterior. La diferencia es que en este caso el valor  $N$  obtenido es sumado a la elevación del fichero que está cargado en memoria en ese momento.

- Función 7: Convertir coordenadas geográficas a UTM

La función aplica una proyección  $UTM$  a las coordenadas geográficas cargadas en memoria. Para ello debe estar el elipsoide de la proyección en la lista de elipsoides del fichero “datums.dat” o cargar uno de forma manual con el semi-eje mayor del elipsoide ( $a$ ) y el aplanamiento ( $\alpha$ ). El huso de la proyección se establece para cada punto. Si se desea un único huso para todo el conjunto de puntos se debe usar la función siguiente. El formato para introducir un nuevo elipsoide es el siguiente. En la primera fila el nombre por el que reconocerá el elipsoide ( la \ inicia la cadena de texto y ! marca el fin de la cadena de texto). El formato para el elipsoide  $WGS84$  se muestra a continuación:

```
\WGS84!
**6378137.0      !a
**298.257222101  ! $\alpha$ 
```

donde \* = es un espacio y ! marca el inicio de los comentarios.

- Función 71: Convertir coordenadas geográficas a UTM para un huso

La función permite convertir el fichero cargado en memoria en coordenadas geográficas con un mismo huso para todos los puntos, aunque alguno pertenezca a otro huso. El resto de características de la función son similares a la anterior (7).

- Función 8: Convertir coordenadas UTM a Geográficas

Ésta es la función inversa de la 7. Sus características son las mismas que las ya explicadas para dicha función (7).

- Función 9: Convertir coordenadas Cartográficas a Geográficas

La función permite cambiar las coordenadas en memoria de cartográficas a geográficas. Como en las tres funciones anteriores se requiere saber el elipsoide de referencia de los datos.

- Función 10: Convertir coordenadas Geográficas a Cartográficas

La función permite realizar la función inversa de la anterior.

- Función 11: Aplicar una transformación al fichero cargado en memoria

La función permite aplicar transformaciones al conjunto de datos cargados en memoria y cambiar de datum. El esquema general de transformación se presenta a continuación:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{\text{NUEVO}} = \begin{pmatrix} A & B & G \\ C & D & H \\ I & J & K \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{ANTIGUO}} + \begin{pmatrix} E \\ F \\ L \end{pmatrix} \quad (\text{E.III.5})$$

donde:

$A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L$  son los parámetros de transformación

$X, Y, Z$  son las coordenadas de cada punto en el sistema de referencia “antiguo”

$x, y, z$  son las coordenadas de cada punto en el sistema de referencia “nuevo”

Así se admiten dos tipos de transformaciones; la genérica con los doce parámetros y una transformación plana con cuatro parámetros ( $A, B, C, D, E$  y  $F$ ) un giro, un cambio de escala y una traslación plana.

El conjunto de transformaciones están el fichero “transf.dat”. El formato para los 12 parámetros se muestra a continuación:

\NOMBRE	!nombre interno de la transformación
*mD-ANTIGUO-NUEVO	!tipo de transformación
*n	!número de parámetros de la transformación
*A	
*B	
*C	
*D	
*E	
*F	
*G	
*H	
*I	
*J	
*K	
*L	

donde:

\* = un espacio

**NOMBRE** = nombre de la transformación que se mostrará por pantalla

**m** = vale 2 o 3 si es una transformación 2D o 3D

**ANTIGUO**=etiqueta del elipsoide del datum de origen que debe estar presente en el fichero “datums.dat”

**NUEVO**=etiqueta del elipsoide del datum de llegada. El programa usará estas etiquetas para el cambio de datum. Se debe distinguir entre mayúsculas y minúsculas

**n**= número de parámetros de la transformación, 4 o 12

**A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L**=parámetros de la transformación

- Función 12: Exportación de ficheros

La función permite exportar los resultados cargados en memoria a un fichero *ASCII* que puede ser leído por la función 1. El nombre del fichero de exportación es el mismo que el del fichero cargado en memoria con la

extensión \*.RES. Con esta función se imprimen sólo aquellos resultados con la cota sin ningún código de error. Para imprimir en el fichero todos los puntos cargados en memoria se debe usar la función **120**. Si el fichero ya existe se sobrescribe.

- Función 14: Visualización de los datos en memoria

La función permite la visualización de los datos cargados en memoria. Para la visualización se utiliza el programa de libre distribución *gnuplot* (Williams y Kelley [1986-2004]) que debe estar instalado en el sistema. La capacidad de visualización de este programa en 3D se reduce a algunos miles de puntos.

(W) En Windows se requiere un programa intermedio en Visual Basic (“*vb2gnuplot.exe*”). Este programa se encarga de enlazar con el software *gnuplot* iniciándolo y enviando los comandos (figura iii.15). Cerrando este programa el foco vuelve al programa *mcal* y se puede continuar con la ejecución de otras funciones. Cada vez que se cierra el programa se actualiza la ruta hacia el fichero “*wgnuplot.exe*” en el fichero “*gnuplot.pth*”. Si se inicia este programa pero no se abre *gnuplot* comprobar que la ruta sea la correcta. En caso que se cambie la ruta, cerrar el programa *VB2Gnuplot* (se actualiza el fichero con la ruta) y volver a iniciar la visualización del fichero cargada en memoria del programa *mcal*.

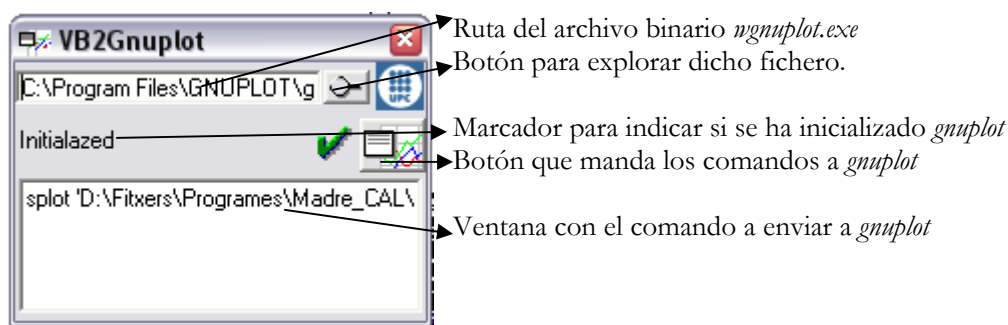


Figura III.15. Programa *vb2GNUPlot.exe*.

(L) En Linux no se requiere de este programa auxiliar para realizar la visualización. Sólo se requiere el fichero ejecutable de *gnuplot* sea accesible desde la consola. En este caso saliendo del programa *gnuplot* con el comando *exit* se vuelve a *mcal*.

Existen además seis funciones complementarias a la **14**, ya explicada. Para acceder a ellas se debe introducir la de función **140**. Una vez introducido este número se presentan por pantalla las funciones de la figura iii.16. En este punto la función **140** visualiza sólo los datos que no tienen un código de error grabado en su elevación (ver función **5**). Las funciones **141** y **142** visualizan los mismos puntos pero la primera usa el nombre de cada punto para enviar una etiqueta al programa de visualización (hasta 150 puntos) y la segunda sólo envía la etiqueta del primer punto. Si se quieren visualizar todos los puntos la función a usar es la **143**. Como en el caso anterior se pueden visualizar con etiquetas (los primeros 150 puntos con la función **144** y sólo el primero con la función **145**).

```

TYPE AN ANSWER: 140
*****
PLOT OPTIONS:
*****
140.Data inside grid without labels
141.Option 140 with labels <max 150>
142.Option 140 with label in point 1
143.All points in/out grid limits
144.Option 143 with labels< max 150>
145.Option 143 with label in point 1
Select your option:

```

Figura III.16. Funciones adicionales de visualización.

- Función 0: Tareas planeadas

La función **0** permite usar de forma automática el resto de funciones ya definidas. Cada función tiene una manera específica de ser llamada desde esta función que se define en este epígrafe. Una vez se ha definido una tarea se puede incluir en el fichero con todas las tareas programadas: “taskfile.dat”. El formato de una tarea en este fichero es el siguiente:

\Nombre de la tarea! <i>comentarios</i> <i>Instrucciones</i>
---

El “Nombre de la tarea” es el que aparece en la ventana cuando se entra en las tareas automatizadas. Se inicia con una contrabarra (\) y se acaba con el signo de admiración (!). Ambos caracteres están prohibidos en la cadena de texto “Nombre de la tarea”. Después de la sentencia se pueden incluir comentarios. Las *instrucciones* se explican a continuación. Las variables sólo pueden ser llamadas en el orden establecido para cada función. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita se presentan las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en los argumentos, en cursiva el nombre del programa, entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

- Función 1 (**\*1!“Fichero”!**)
  - \*=espacio
  - !=separador de comandos
  - “Fichero”** = ruta completa o relativa al fichero de datos con los formatos descritos. En el caso de querer que se pida el fichero por pantalla éste debe ser “NO FILE”
- Función 2 (**\*2!i!x!y!z!**)
  - \*=espacio
  - !=separador de comandos
  - i**=[1/2] opciones para el vector desplazamiento descritas para la función 2
  - x**= latitud en grados sexagesimales/*X* (caso **i**=1) o el incremento (**i**=2)
  - y**=longitud en grados sexagesimales/*Y* (caso **i**=1) o el incremento (**i**=2)
  - z**=cota (**i**=1) o incremento de cota (**i**=2)
- Función 4 (**\*4!“geoide”**)
  - \*=espacio
  - !=separador de comandos
  - “geoide”** = ruta completa del fichero con el geoide según los formatos ya descritos en la función 4
- Función 5 (**\*5!**)
  - \*=espacio
  - !=separador de comandos
  - OBS. En el caso de automatización el fichero de error que se puede generar usa el nombre del fichero de automatización dado desde la línea de comandos al programa
- Función 6 (**\*6!**)
  - \*=espacio
  - !=separador de comandos
  - OBS. En el caso de automatización el fichero de error que se puede generar usa el nombre del fichero de automatización dado desde la línea de comandos al programa
- Función 7 (**\*7!i!**)
  - \*=espacio
  - !=separador de comandos
  - i**=número de elipsoide de los datos en el fichero “datums.dat”
- Función 8 (**\*8!i!**)
  - \*=espacio
  - !=separador de comandos
  - i**=número de elipsoide de los datos en el fichero “datums.dat”
- Función 9 (**\*9!i!**)
  - \*=espacio
  - !=separador de comandos



- $i$ =número de elipsoide de los datos en el fichero “datums.dat”
- Función 10 (**\*10!**)
  - $*$ =espacio
  - $!$ =separador de comandos
  - $i$ =número de elipsoide de los datos en el fichero “datums.dat”
- Función 11 (**\*11!**)
  - $*$ =espacio
  - $!$ =separador de comandos
  - $i$ =número de transformación a aplicar en el fichero “transf.dat”
- Función 12 (**\*12!**)
  - $*$ =espacio
  - $!$ =separador de comandos
- Función 13 (**\*13!**)
  - $*$ =espacio
  - $!$ =separador de comandos
- Función 14 (**\*14!**)
  - $*$ =espacio
  - $!$ =separador de comandos

### A.III.7.2. Secuencia de comando

Para utilizar el programa desde la línea de comando la única opción es generar un fichero con una tarea planeada con la sintaxis explicada en el epígrafe anterior. La sentencia desde la línea de comando es la siguiente:

(*mc*al “Fichero tarea”!)

$!$  = fin del nombre de fichero desde la línea de comando

“Fichero tarea” = Ruta completa del fichero con la tarea generada. Sólo puede tener una tarea

### A.III.8. MeshGrid (W/L)

El programa, realizado en FORTRAN 77/90, interpola una malla regular sobre un *TIN*. El formato del fichero de entrada es la salida del programa que se explica en el epígrafe siguiente. La salida del programa es una lista de los nodos interpolados en formato *ASCII* con sus coordenadas X, Y, Z. En este fichero sólo se incluyen los nodos del modelo con elevación (los elementos nulos se excluyen). El coste computacional del algoritmo usado es  $O(n)$ .

#### A.III.8.1. Secuencia de comando

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando. Las variables sólo pueden ser llamadas en el orden establecido. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita se presentan las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en los argumentos, en cursiva el nombre del programa, entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

*mesh\_grid* **ifile**=“Fichero entrada” **ofile**=“Fichero salida” **xl**=xleft **xr**=xright **yd**=ydown **yt**=ytop  
**xc**=xcelsize **yc**=ycelsize **xdec**=n1 **ydec**=n2 **zdec**=n3

- (**ifile**=“Fichero entrada”). “Fichero entrada” es la cadena de texto con la ruta completa o relativa del fichero con la malla *TIN* generada por *mesh\_tri2d*

- (**ofile**="Fichero salida"). "Fichero salida" es la ruta completa o relativa del fichero con los puntos del modelo con los nodos interpolados
- (**xl**=xleft). La variable *xleft* es un valor real con la coordenada *X* mínima de la ventana donde se va a generar el modelo digital regular. Si se da el valor -1 el programa localiza el mínimo del *TIN* leído y lo usa como valor
- (**xr**=xright). La variable *xright* es un valor real con la coordenada *X* máxima del modelo regular a interpolar. Si se da el valor -1 se busca el máximo del *TIN* leído y se obtiene el siguiente valor múltiple del tamaño de celda en *X*
- (**yd**=ydown). La variable *ydown* es un valor real con la coordenada *Y* mínima del modelo regular a interpolar. Si se da el valor -1 se busca el mínimo del *TIN* leído y lo usa como valor
- (**yt**=ytop). La variable *ytop* es un valor real con la coordenada *Y* máxima del modelo regular a interpolar. Si se da el valor -1 se busca el máximo del *TIN* leído y se obtiene el siguiente valor múltiple del tamaño de celda en *Y*
- (**xc**=xcelsize). La variable *xcelsize* es un valor real con el tamaño de cada nodo de la malla regular en la dirección *X*
- (**yc**=ycelsize). La variable *ycelsize* es un valor real con el tamaño de cada nodo de la malla regular en la dirección *Y*
- (**xdec**=n1). La variable **n1** es un valor entero con los decimales a usar en la coordenada *X* para todos los puntos del fichero de salida.
- (**ydec**=n2). La variable **n2** es un valor entero con los decimales a usar en la coordenada *Y* para todos los puntos del fichero de salida.
- (**zdec**=n3). La variable **n3** es un valor entero con los decimales a usar en la coordenada *Z* para todos los puntos del fichero de salida.

### A.III.9. MeshTri2d (W/L)

El programa realizado en FORTRAN 77/90 permite generar triangulaciones *Delaunay* con un conjunto de puntos dados. El formato del conjunto de puntos debe ser *X*, *Y*, *Z* en un fichero *ASCII*. La malla irregular resultante se guarda en un fichero en un formato visualizable por el programa *gnuplot* (sólo hay que hacer un *plot* con los puntos como líneas).

Para generar la triangulación se ha implementado en algoritmo de *Watson* modificado con una ordenación previa en la dirección *X* de los puntos leídos. El coste computacional en tiempo es de  $O(n^2)$ . Otros algoritmos de cálculo como *qhull* son más eficientes ( $O(n \cdot \log(n))$ ), pero no han sido incorporados. Esto reduce el número de puntos práctico a tratar con este programa. Un valor máximo aconsejable está al entorno de los 300.000 puntos. La combinación de este programa con el descrito en el siguiente epígrafe, que es de segmentación, ha permitido solventar éste problema y poder operar con decenas de millones de puntos.

Los ficheros de entrada y de salida usan el carácter **#** como indicador de comentarios en la primera columna. El separador de columnas en el fichero de entrada puede ser la coma, el espacio o el tabulador. En el de salida es la coma. El único parámetro adicional que requiere el programa para funcionar es la longitud máxima admisible de un lado de un triángulo de la malla. Los triángulos con algún lado menor al valor introducido son eliminados y generan "huecos" en el modelo en las áreas donde los puntos de la triangulación están más alejados.

#### A.III.9.1. Secuencia de comando

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando. Las variables sólo pueden ser llamadas en el orden establecido. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita se presentan las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en los argumentos, en cursiva el nombre del programa, entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

*mesh\_tri2d* **ifile**="Fichero de entrada" **L/l=n** **ofile**="Fichero de salida"

- (**ifile**="Fichero de entrada"). La variable "Fichero de entrada" es una cadena de texto con la ruta completa o relativa del fichero con los puntos con que se va a realizar la triangulación
- (**L/l=n**). La variable **n** es la longitud máxima admisible de los lados de los triángulos generados
- (**ofile**="Fichero de entrada"). La variable "Fichero de salida" es una cadena de texto con la ruta completa o relativa del fichero donde se escribe la triangulación. En el fichero, un triángulo se escribe con los tres puntos que lo forman (X,Y,Z) en sentido antihorario, y escribiendo de nuevo el primer punto. El programa de visualización dibuja una línea por cada dos puntos consecutivos. Repetir el primer punto cierra el último lado del triángulo

### A.III.10. MMosac (W/L)

El programa realizado en FORTRAN 77/90 permite segmentar un área o agrupar distintos grupos de datos en un sólo fichero. La segmentación se puede hacer con un área de solape para asegurar que, en el caso de combinarlo con el programa de triangulación descrito en el epígrafe anterior, este solape es mayor que el lado máximo admisible de los triángulos del *TIN*. La forma de las áreas segmentadas debe ser un cuadrilátero con sus lados paralelos a los ejes X e Y.

El programa sólo requiere un fichero de entrada con una lista de ficheros a usar para la segmentación y otro de salida con cada una de las ventanas en que se va a segmentar el conjunto de ficheros dados en el fichero de entrada. El formato del fichero de entrada es la ruta completa o relativa de cada fichero con puntos (sus coordenadas X, Y, Z en las tres primeras columnas separadas por comas, espacios o tabuladores). El formato del fichero de salida es el siguiente para cada ventana:

*xleft,xright,ybotom,ytop*, "Fichero de salida ventana n"

donde:

*xleft*=valor mínimo de la coordenada X a incluir dentro de la ventana.

El valor exacto se incluye

*xright*=valor máximo de la coordenada X a incluir dentro de la ventana. El valor exacto se incluye

*ybottom*=valor mínimo de la coordenada Y a incluir dentro de la ventana. El valor exacto se incluye

*ytop*=valor máximo de la coordenada Y a incluir dentro de la ventana.

El valor exacto se incluye

"Fichero de salida de la ventana n"=Cadena de texto con el nombre del fichero donde se escriben los puntos que están dentro de la ventana n

En ambos ficheros si se incluye el carácter # en la primera columna se considera que la línea en que se encuentra es de comentarios.

#### A.III.10.1. Secuencia de comando

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando. Las variables sólo pueden ser llamadas en el orden establecido. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita se presentan las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en los argumentos, en cursiva el nombre del programa, entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

*m mosac* "Fichero entrada" "Fichero salida" n

- (“Fichero entrada”)= nombre del fichero con la lista de los ficheros de entrada con su ruta completa o relativa. Si contiene espacios debe darse entre dobles comillas
- (“Fichero salida”)= fichero con la lista de ventanas donde se van a escribir los puntos leídos de la lista del fichero de entrada.
- (n)=0/1. Si vale 0 al acabar el proceso los ficheros de ventanas sin puntos son eliminados; si vale 1 se preservan los ficheros de ventanas sin puntos.

### A.III.11. PNM (W/L)

El programa realizado en FORTRAN 77/90 tiene múltiples funciones. Las dos funciones principales son la de generar imágenes a partir de un conjunto de coordenadas y viceversa. La capacidad de almacenar modelos digitales e imágenes se ha usado para todo un conjunto de aplicaciones. Las principales son las de inundación, ya explicadas en el cuerpo de la memoria, pero también se han usado para filtrar un conjunto de datos con una imagen. El formato de imagen que es capaz de leer es el formato *PNM*. Éste es un formato muy estable y fácil de implementar en FORTRAN. El formato es visualizable por la mayoría de programas de edición/ visualización de imágenes (incluido el *Gimp*).

Al iniciar el programa se piden dos formatos de datos; un fichero *ASCII* con las coordenadas *X*, *Y*, *Z*, y una imagen en formato *PNM*. Ambos pueden estar comprimidos con *gzip* y éste debe estar instalado en el sistema operativo. Una vez se ha cargado un fichero se pide si se quiere cargar alguno más. En el caso de los puntos todos los ficheros cargados se usan para generar una imagen. En ambos formatos se pueden incluir comentarios si en la primera columna de la fila se inserta en carácter *#*. Las coordenadas *X*, *Y*, *Z* se almacenan como reales por cuatro, ocupando entonces 12 *bytes* por cada punto. Así 40 millones de puntos requieren 458MB de memoria.

Las opciones de salida son:

1. Guardar un fichero de puntos (X, Y, Z)

En el caso que los datos cargados en memoria sean puntos después de pedir el fichero de salida se pide si quieren excluir algunas elevaciones y si se quiere filtrar con una imagen. En este segundo caso se piden las coordenadas mínimas de la imagen (*X*, *Y*) y el ancho de un píxel en las dos direcciones de la imagen horizontal (*x*) y vertical (*y*). Se pide también el número de color de la imagen a blanquear en los puntos. Para generar el número se usa la siguiente expresión:

$$N = R + 256 \cdot (G + 256 \cdot (B))$$

donde:

*R* =valor en la escala de rojo en el intervalo [0:255]

*G* =valor en la escala de verde en el intervalo [0:255]

*B* =valor en la escala de azul en el intervalo [0:255]

En el caso que los datos de entrada sean una imagen al usar esta función lo primero que se pide es el número de imagen que se va a convertir a un fichero de coordenadas. En segundo lugar el nombre del fichero de salida. En tercer lugar el formato de leyenda (0,1,2,3 y 4). En el caso de no usar paleta (0) se mantiene el número de color, en el caso de una paleta en un fichero se da su ruta completa (4) y en los otros casos el color usado como valor nulo. Por último los valores máximo y mínimo usando la paleta de colores definida.

2. Guardar una imagen PNM

En el caso que los datos cargados en memoria sean puntos se procede en primer lugar a generar un modelo digital regular que se convertirá posteriormente en imagen. Para ello se pide por pantalla si se quiere que el programa obtenga automáticamente los anchos de celda en ambas direcciones. En ese caso se buscan las diferencias entre los puntos en ambas direcciones y se mira si el resto son sus múltiplos. Después se piden los límites del modelo que se va a generar. En caso de no haber pedido la detección automática de los anchos de celda en este punto se piden. El último parámetro para generar el modelo es el criterio de solape: 0 si se va a almacenar en el modelo el número de puntos de cada celda, 1 si se va a hacer la media de los puntos de cada celda, 2 si se ha a usar la mínima elevación de todos los puntos de cada celda, 3 si se usa la

elevación máxima, 4 si se usa la mínima elevación en valor absoluto y 5 si se usa la máxima en valor absoluto.

El segundo paso es la conversión del modelo generado en una imagen. Primeramente se pide la paleta que se va a usar. La opción 0 no modifica el valor de los nodos del modelo (si la coordenada Z del fichero ya es un número de color (de 0 a 16777215). La 1 es en blanco y negro, la 2 es en escala de grises (256 colores) y la 3 es en color. La última permite usar paletas de colores predefinidas en ficheros. La paleta debe estar en formato *Miramón* (extensión del fichero \*.P25). El formato tiene cuatro columnas por cada color. La primera es el número de punto (de 0 a n), la segunda el valor en el canal rojo ([0:255]), la tercera el valor en el canal verde ([0:255]) y la cuarta el valor en el canal azul ([0:255]). La siguiente opción permite blanquear un área de colores en la imagen; se definen dos valores y se puede “blanquear” el área entre ellos o la que les une con los extremos. A continuación se pide la ruta completa al fichero con la paleta de colores. Se seleccionan el máximo y mínimo de las elevaciones del modelo y se pide si se quieren cambiar estos valores. Una vez introducidos se cambian los valores del modelo por el código de color proporcionado por la paleta. Por último se pide el nombre del fichero de la imagen. La extensión debe tener la extensión \*.PNM. En último lugar se pide si se quiere guardar otra imagen con la escala. Si se ha usado como paleta la opción 0 escribir la paleta produce un error.

### 3. Funciones sobre imágenes

Con esta función se accede a un conjunto de funciones sobre los puntos o sobre las imágenes. Permiten realizar las operaciones de las funciones 1 y 2 o un conjunto de nuevas operaciones sobre un modelo digital o sobre imágenes. Éstas se describen a continuación:

Desde datos X, Y, Z:

- (0). Salir de las funciones sobre imágenes  
Esta función permite salir de este apartado.
- (1). Hacer un modelo digital regular con los datos X, Y, Z  
En este apartado se genera un modelo digital con las elevaciones de los puntos tal y como se ha descrito en el epígrafe anterior.
- (2). Borrar el modelo digital regular generado  
Con esta función se borra el modelo digital de elevaciones generado de la memoria del programa.
- (3). Erosionar el modelo digital en memoria.  
Se usa una forma cuadrada para erosionar el modelo digital en memoria. Se pide un valor para el lado de la ventana del filtro en *pixels*. El modelo erosionado se sobrescribe al guardado en la memoria.
- (4). Dilatar el modelo digital en memoria  
En este caso también se usa una forma cuadrada para aplicar el filtro. El modelo dilatado se guarda también en memoria sobrescribiendo el anterior.
- (5). Detección de líneas de rotura y generación de imagen  
La función detecta líneas de rotura en el modelo cargado en memoria a través de la curvatura local en una ventana de  $3 \times 3$  *pixels*. Se pide una diferencia de elevación umbral y se genera una imagen con el resultado.
- (6). Generar imágenes de gradientes, pendientes y orientación  
En primer lugar se generan los gradientes en las direcciones X e Y. Para ello se han usado las fórmulas de *Prewitt* descritas en Felicísimo [1999]. El mapa de pendientes se genera con los dos gradientes. El mapa de orientaciones (también en radianes) se ha implementado con la formulación expuesta en Felicísimo [1999].
- (7). Generar imágenes de curvatura  
Para esta función se han usado las formulaciones de Wood(1996) y Young(1978) descritas en Felicísimo [1999].
- (8). Realizar ajustes polinómicos sobre los puntos o el modelo y obtener una superficie ajustada por mínimos cuadrados  
La función permite ajustar el modelo cargado en memoria o los puntos originales con una función polinómica de orden n. Se usa una ventana para el ajuste a la función data. La ponderación de los puntos se puede hacer en función de la



distancia, dando un valor máximo para  $\sigma$ , dando un número mínimo de puntos para realizar el ajuste o establecer un umbral máximo de alturas (control de alturas). Éste control se usa en el ajuste por mínimos cuadrados y elimina del modelo los nodos con un valor superior al umbral. El modelo generado no sobrescribe el cargado en memoria y se puede guardar como un fichero *ASCII* con las coordenadas X, Y, Z o como una imagen.

- (9). Guardar como una imagen el modelo digital en memoria  
Esta función permite guardar como una imagen usando una paleta el modelo digital en memoria. Realiza la parte que junto la función (3-1) de este apartado se hace en un solo paso en la función (2).
- (10). Guardar como un fichero X, Y, Z el modelo digital en memoria  
Por último esta función permite guardar en un fichero *ASCII* las coordenadas del modelo cargado en memoria.

Desde una imagen *PNM*:

- (11). Aplicar un filtro de un área de umbral a la imagen en memoria  
Permite igualar los valores dentro de una imagen en el intervalo entre o fuera de dos valores dados.
- (12). Ecualizar el contraste de la imagen en memoria  
Con esta función se ecualiza la imagen en memoria con la distribución de frecuencias acumulada
- (13). Guardar la imagen en memoria como una imagen *PNM*  
Esta función permite guardar la imagen cargada en memoria.
- (14). Comparar la imagen en memoria con otra imagen  
En esta función se compara la imagen en memoria con otra. En primer lugar se copia la imagen en memoria a la de la comparación (en la que se va a guardar el resultado de la comparación). Después si el valor de la imagen en memoria es menor que el que se ha leído en segundo lugar el *pixel* se escribe en rojo ( $ND_{I,j}=255$ ). En cambio si el valor de la imagen de referencia es mayor, el *pixel* se escribe en verde ( $ND_{I,j}=65280$ ).  
Un ejemplo de esta función ha sido comparar dos imágenes de una inundación binarizada (blanco=inundado; negro=no inundado). Así el resultado es fácilmente analizable.
- (15). Clasificación supervisada de la imagen cargada en memoria  
Función no implementada completamente.

Otros:

- (20). Cambiar los parámetros de gestión de la memoria en las operaciones  
Esta función permite determinar si se van a guardar los modelos intermedios generados o si se van a eliminar una vez guardados en un fichero para ahorrar memoria. Si ya están en memoria se visualiza su tamaño, y si se van a eliminar (T) o no (F).

#### 4. Cálculo de volumen y superficie (“ensayos de inundación”)

Esta es la función donde se han implementado los ensayos de inundación descritos en la memoria. Una vez se entra en la función aparecen dos opciones. La primera da acceso al método denominado en la memoria “equicota”. La segunda función es la que se ha denominado de “contorno activo”.

En ambos casos se pide una imagen de filtro. Ésta debe tener el mismo tamaño que el modelo digital cargado en memoria. Una vez cargada se piden sus límites y dimensiones. Después, cuál es el color de la imagen que elimina nodos del modelo (“blanquea”). También se pide un fichero donde se escriben los cálculos de superficie inundada y volumen almacenado, y en el caso de inundar una línea de rebase los nodos con sus coordenadas. El color de las líneas de rebase se pide por pantalla como “*limit color*” (debe estar marcada en la imagen con este único color). Otro parámetro a introducir es el número de iteraciones después de que se active una condición de rebase. Uno de los últimos parámetros es la altura máxima de análisis. Ésta para los cálculos si no se han detenido por rebase. El último parámetro que se pide en ambos análisis es el incremento de la cota de análisis. Si se introduce 0 se entiende que sólo se quiere analizar una cota y se pide

cuál es por pantalla. Por último se pide si se quieren guardar los resultados intermedios como fichero de puntos (lista de puntos inundados) i/o como imagen binarizada de la inundación (blanco=inundado, negro=no inundado, ND=10 si son nodos en blanco).

Para el segundo método se pide además el color en la imagen de los puntos de inyección y el color de los puntos de inyección en los bordes. Se detectan estos puntos en el modelo y se da a elegir cual va a ser la cota de inicio del análisis.

### A.III.11.1. Secuencia de comando

En este epígrafe se resume cuál es el modo de usar el programa desde la línea de comando. Las variables sólo pueden ser llamadas en el orden establecido. Los argumentos entre corchetes son opcionales. En negrita se presentan las etiquetas para que el programa reconozca cada uno de los argumentos. Con la barra se marca la alternativa en los argumentos, en cursiva el nombre del programa, entre paréntesis la longitud de un subcomando y entre comillas las cadenas de texto.

*pnm* **ifile**="Fichero de entrada" [**nc**=s] **op**=n **ofile**="Fichero de salida" ARGS

- (**ifile**="Fichero de entrada"). Fichero con los datos de entrada del programa. El programa analiza la extensión del fichero. Si es \*.PNM entiende que es una imagen lo que se ha cargado. Si encuentra la extensión \*.GZ (fichero comprimido con *gzip*) busca la extensión anterior y la analiza. En el resto de casos se considera que el fichero dado es un fichero *ASCII* con las coordenadas X, Y, Z de cada punto separadas por comas, espacios o tabuladores por columnas.
- ([**nc**=s]). Argumento opcional. Necesario en el caso de dar un fichero con puntos. El carácter **s** es el que usará en el fichero si se encuentra en la primera columna para considerar toda la fila como comentarios.
- (**op**=n). Opción de salida usada (n).
- (**ofile**="Fichero de salida"). Nombre del fichero de salida.
- (ARGS). Argumentos en función del valor **n**:
  - 1. Exportar un fichero de puntos:
    - Si los datos de origen son puntos:  
(**[nz=m]** [**img**="Fichero imagen" **ixl**=xmin **iyd**=ymin **icx**=xcelsize **icy**=ycelsize **nc**=nn])
      - (**nz=m**). Si está presente se entiende que se van a eliminar en el fichero de salida los puntos con una elevación =m
      - (**img**="Fichero imagen"). Argumento opcional. Si está presente se asume que se quiere filtrar los datos con una imagen y los argumentos siguientes son requeridos.
      - (**ixl**=xmin). Coordenada X mínima de la imagen
      - (**iyd**=ymin). Coordenada Y mínima de la imagen
      - (**icx**=xcelsize). Tamaño en metros de un *pixel* en la dirección X
      - (**icy**=ycelsize). Tamaño en metros de un *pixel* en la dirección Y
      - (**nc**=nn). Número de color de la imagen cuyos *pixels* se van a usar para descartar puntos del fichero de entrada en el de salida
    - Si los datos de origen son una imagen:  
(**ni=imagen** **ixl**=xmin **iyd**=ymin **icx**=xcelsize **icy**=ycelsize **lf**=L [**nv**=nullvalue]/[**pf**="Fichero paleta" **np**=n [**zpos**=m] [**ntol**=o] ] **zmin**=p **zmax**=q)
      - (**ni=imagen**). Número de imagen en el vector de imágenes cargadas en memoria
      - (**ixl**=xmin). Coordenada X mínima de la imagen
      - (**iyd**=ymin). Coordenada Y mínima de la imagen
      - (**icx**=xcelsize). Tamaño en metros de un *pixel* en la dirección X
      - (**icy**=ycelsize). Tamaño en metros de un *pixel* en la dirección Y
      - (**lf**=L). Formato de leyenda de la imagen. L puede valer 0, 1, 2, 3 y 4 (descritos en la función 2)

- (**nv=nullvalue**). Argumento opcional. Obligatorio si **L=1,2** o **3**. Pide cuál es el valor nulo de la imagen (número de color). Generalmente es **0** (negro)
  - (**pf="Fichero paleta"**). Argumento opcional. Obligatorio si **L=4**. La cadena de texto "**Fichero paleta**" es la ruta completa al fichero \*.P25 con la paleta usada para generar la imagen
  - (**np=n**). Argumento opcional. Obligatorio si **L=4**. Define la posición del color en la paleta de colores (el primero es el **0**) que se va a usar como valor nulo y no se va a traducir en punto de coordenadas. Si el valor **n=-1** no se va a considerar ningún color como nulo.
  - (**[zpos=m]**). Argumento opcional. Incluir sólo si **L=4**. Sólo se debe incluir si **n=0**. Los valores que debe tener son **0/1**. Si tiene un valor de **0** se asume que la elevación mínima (**zmin**) es del color **0** (aunque se haya blanqueado). En cambio se vale **1** se asigna la elevación mínima al color **1**. Si no se incluye vale **0**.
  - (**[ntol=o]**). Argumento opcional. Incluir sólo si **L=4**. Indica la tolerancia respecto el número de color de la paleta para que un color de la imagen se asigne a ese valor de la paleta y su elevación asociada. Si no se incluye se entiende que su valor es **0**.
  - (**(zmin=p)**). Elevación mínima del primer color útil de la paleta usada. No se pide si **L=0** (el primer color son los nodos sin datos)
  - (**(zmax=q)**). Elevación máxima del último color de la paleta usada. No se pide si **L=0**
- 2.Exportar una imagen
- ([-gc]/[xc=xcellsize yc=ycellsize] xl=xmin xr=xmax yd=ydown yt=ytot op=c lf=L [nc=color]/[pf="Fichero paleta"] [zmin=p] [zmax=q] [-sscale])**
- (**-gc**). Argumento opcional. Indica que se va a detectar el ancho de celda en las direcciones **X** e **Y** automáticamente
  - (**xc=xcellsize**). Si no se da el indicador **-gc** este parámetro es necesario. Tamaño de celda en la dirección **X**
  - (**yc=ycellsize**). Si no se da el indicador **-gc** este parámetro es necesario. Tamaño de celda en la dirección **Y**
  - (**xl=xmin**). Coordenada **X** mínima del modelo. Si **xmin=free** se usa el mínimo de los datos.
  - (**xr=xmax**). Coordenada **X** máxima del modelo. Si **xmax=free** se usa el siguiente valor múltiple de **xc** a partir de **xmin**.
  - (**yd=ymin**). Coordenada **Y** mínima del modelo. Si **ymin=free** se usa el mínimo de los datos.
  - (**yt=ymax**). Coordenada **Y** máxima del modelo. Si **ymax=free** se usa el siguiente valor múltiple de **yc** a partir de **ymin**.
  - (**oc=c**). Criterio de solape para generar el modelo. **c=0,1,2,3,4,5,6**
  - (**lf=L**). Formato de leyenda de la imagen. **L** puede valer **0, 1, 2, 3** y **4** (descritos en la función 2).
  - (**nv=nullvalue**). Argumento opcional. Obligatorio si **L=0,1,2** o **3**. Pide cuál es el valor nulo de la imagen (número de color). Generalmente es **0**
  - (**pf="Fichero paleta"**). Argumento opcional. Obligatorio se **L=4**. La cadena de texto "**Fichero paleta**" es la ruta completa al fichero \*.P25 con la paleta usada para generar la imagen
  - (**[zmin=p]**). Argumento opcional. Elevación mínima del primer color útil de la paleta usada. Si el valor **p** es (**free**) se usa la mínima elevación de los datos.
  - (**[zmax=q]**). Argumento opcional. Elevación máxima del último color de la paleta usada. Si el valor **q** es (**free**) se usa la mínima elevación de los datos.

- (**[-sscale]**). Argumento opcional. Si está presente se guarda una imagen con la escala. Tiene el mismo nombre que la imagen con el sufijo “.scale.ppm”. Si no está presente no se guarda la escala

Algunos ejemplos son los siguientes:

- Generación de un fichero de coordenadas XYZ desde una imagen:

```
(pnm ifile="test1.ppm" op=1 ofile="test1-out.dat" ni=1 ixl=1 iyd=1 icx=1 icy=1 lf=2 nv=0  
zmin=0 zmax=10)
```

Este comando genera de una imagen en escala de grises un fichero con coordenadas considerando que las coordenadas del borde izquierdo e inferior del píxel izquierdo e inferior son (1,1). El ancho de un píxel es 1x1m y los nodos sin datos se van a pintar en negro. Las elevaciones para son 0 y 10m para el negro y el blanco respectivamente.

- Generación de una imagen desde dos ficheros de coordenadas XYZ:

```
(pnm ifile="test1.dat" nc=# ifile="test2.dat" nc=# op=2 ofile="test1-2.ppm" -gc xl=free  
xr=free yd=free yt=free oc=2 lf=4 pf="gvi256ok.p25" zmin=free zmax=free -sscale)
```

Este comando carga dos ficheros de datos XYZ usando # para líneas de comentarios. La imagen de salida se va a generar con los límites de los datos cargados y se entiende que los puntos son nodos de un modelo cuyo ancho de malla se va a determinar automáticamente. Se va a usar la paleta de colores gvi256ok.p25 y se va a generar otra imagen con la escala.



## **ANEJO IV:**

### **INFORMACIÓN DIGITAL**

OBS: En caso de requerir esta información por ausencia, pérdida o deterioro del DVD original, ponerse en contacto con autor/director para obtener una copia.

Enric Ibàñez Martínez: [enric.ibanez@upc.edu](mailto:enric.ibanez@upc.edu)  
Josep A. Gili Ripoll: [j.gili@upc.edu](mailto:j.gili@upc.edu)